

Möglichkeiten der NO_x - und Staubemissionsreduktion bei Biomassefeuerungen

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg

Schloss Weinzierl 1, 3250 Wieselburg

Autorinnen und Autoren: Dr. Lukas Sulzbacher, Ing. Harald Baumgartner, Dr. Josef Rathbauer
Wieselburg, 2025. Stand: 17.02.2025

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

Impressum	2
Inhalt	3
1 Einleitung	5
2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Entwicklung der Grenzwerte	7
3 Emissionsentstehung	18
4 Untersuchungen zur Reduktion von Emissionen bei Einzelraumheizgeräten mittels Katalysator	21
4.1 Zielsetzung der Verbrennungsversuche	22
4.2 Methodik der Verbrennungsversuche am Prüfstand	23
Verwendete Feuerung	26
Eingesetzte Katalysatorelemente	27
4.3 Ergebnis der Abscheideversuche	27
4.4 Zusammenfassung Katalysatorversuche	38
5 Untersuchung zur Wirkung von Reduktionsmaßnahmen von Emissionen bei Heizkesseln (Kleinf Feuerungen)	40
5.1 Maßnahmen zur Reduktion von partikelförmigen Emissionen bei Heizkesseln.....	41
Primäre Maßnahmen	41
Sekundäre Maßnahmen.....	42
5.2 Darstellung der Entwicklung von Partikelemissionen anhand von Prüfstandsergebnissen von Prüfungen nach EN 303-5.....	43
Darstellung der Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen anhand von Prüfstandsergebnissen.....	49
Effekte von Reduktionsmaßnahmen bei den Staubemissionen	55
Effekte von Reduktionsmaßnahmen bei den NO _x -Emissionen.....	57
Gegenüberstellung der Wirkfähigkeit einzelner Reduktionsmethoden anhand von Prüfstandsergebnissen.....	60
6 Zusammenfassung	64
Tabellenverzeichnis	68
Abbildungsverzeichnis	69
Literaturverzeichnis	73

1 Einleitung

Die energetische Nutzung von Biomasse, insbesondere Holz, ist am heimischen Wärmemarkt einer der wichtigsten erneuerbaren Energieträger. Die Nutzung regionaler Ressourcen für die Energiebereitstellung, insbesondere zur Raumwärmegewinnung, wird in Zeiten von Klimawandel, Energiekrise und kritischer Abhängigkeit von Gas-, Erdöl- und Stromimporten immer wichtiger. Nachhaltige Energiebereitstellungssysteme auf Basis erneuerbarer Energieträger haben hierbei großes Potential, die Versorgungssicherheit und die regionale Wertschöpfung zu steigern. Insbesondere häusliche Holzfeuerungen, sei es als Zentralheizsysteme oder Einzelraumfeuerstätten, erfreuen sich großer Beliebtheit.

Der technische Stand von Holzfeuerungen wurde in den letzten Jahren laufend verbessert. So stehen heute ausgereifte Systeme zur Verfügung, die durch hohe Bedienungsfreundlichkeit, hohe Wirkungsgrade sowie niedrige Emissionen gekennzeichnet sind. Jedoch nicht nur die Technik der Energieumwandlung, sondern auch die dabei geltenden Umweltstandards und gesetzlich geforderten Auflagen hinsichtlich Emissionen befinden sich in ständiger Weiterentwicklung. Moderne automatisch beschickte Holzfeuerungsanlagen sind bislang zumeist in der Lage sind, die stetig verringerten Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Für einige Marktsegmente bzw. bestehende Anlagen kann zusätzliche Abgasaufbereitungstechnik eine interessante Möglichkeit sein, die geforderten Grenzwerte sicher einzuhalten.

Zudem können technologische Maßnahmen zur Abgasaufbereitung bzw. -reduktion sicherstellen, dass die thermische Nutzung von Holz zur Wärmebereitstellung eine zukunftsfähige Technologie bleibt. Moderne Holzheizungen emittieren heute nur noch einen Bruchteil von dem, was veraltete Anlagen ausstoßen. Durch technische Innovationen und Effizienzsteigerungen kann sich diese positive Entwicklung in Zukunft noch verstärken.

Ziel des vorliegenden Projektes ist die systematische Erhebung, Identifizierung und Erprobung von Reduktionsmaßnahmen bei automatisch beschickten Kleinfeuerungsanlagen bzw. Einzelraumfeuerstätten. Hierzu wurden zum einen mittels umfangreicher Recherchen der aktuelle Stand der Technik erhoben. Zum anderen wurden unterschiedliche Technologien zur Reduktion der Staub und anderer gasförmiger Emission wie beispielsweise Kohlenmonoxid, Stickoxide und organisch gebundenen Kohlenstoffen am Prüfstand getestet. In den

Versuchsdurchführungen wurden unterschiedliche Feuerungen mit unterschiedlichen technologischen Ansätzen wie elektrostatische Partikelabscheider und Katalysatoren eingesetzt.

Ziel war es, ein umfassendes Bild über den Stand der Technik zu erhalten, Einsatzmöglichkeiten bei Kleinfeuerungsanlagen zu identifizieren und am Prüfstand hinsichtlich Potentiale und Funktionalität zu testen. Basierend auf Literaturdaten und eigenen Messungen wurde der aktuelle Kenntnisstand zu Emissionsreduktionsmaßnahmen bei häuslichen Holzfeuerungen zusammengefasst und hinsichtlich dem jeweiligen Einsatzpotential bewertet.

Das Projekt wurde so konzipiert, dass für einzelne Themengebiete nach Projektabschluss, basierend auf den Ergebnissen der Grundlagenuntersuchung, weiterführende Vertiefungen in Form von Folgeprojekten möglich sind.

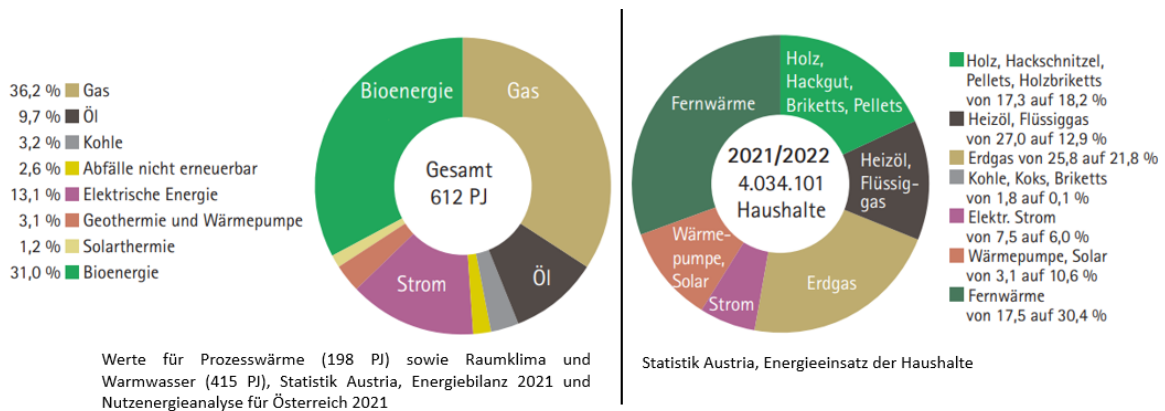
2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Entwicklung der Grenzwerte

Die Auswirkungen des Klimawandels sind eine große Herausforderung, sowohl für die europäische als auch für die nationale Energie- und Klimapolitik. Am 31.10.2023 wurde die Neuauflage der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED III) publiziert. Verbindliche Zielsetzung der RED III ist die Steigerung des Anteils der Erneuerbaren Energien in der EU auf mindestens 42,5 % bis zum Jahr 2030. Vor der neuen RED III-Einigung lag das alte Ziel bei nur 32 % Erneuerbare bis 2030. Neben dem zentralen Ziel für den Ausbau Erneuerbarer Energien auf mindestens 42,5 % des Endenergieverbrauchs, enthält die RED III auch Unterziele für spezielle Sektoren. Im Gebäudebereich beispielsweise muss der Anteil erneuerbarer Energien beim Heizen und Kühlen von Gebäuden europaweit bis 2030 auf mindestens 49 % steigen. Damit verbunden sind auch strengere Nachhaltigkeitskriterien für Biomasse. Diese sollen sicherstellen, dass nur naturverträglich gewonnene Biomasse gefördert und für die Zielerreichung angerechnet werden kann.

Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, nationale Ziele für den Erneuerbaren-Anteil im Gebäudesektor gesetzlich zu verankern. Die Österreichische Bundesregierung hat gemäß der EU-Verordnung über die Governance betreffend Energieunion und Klimaschutz einen integrierten nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP) an die Europäische Kommission übermittelt. Mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2040 bekennt sich die österreichische Bundesregierung in ihrem aktuellen Regierungsprogramm 2020 (für die Jahre 2020 bis 2024) unter anderem zur schrittweisen Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Österreich. Dazu sollen bis 2040 zum einen der Energieverbrauch reduziert und zum anderen die Wärmeversorgung auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden.

Unter den erneuerbaren Energieträgern kommt der Biomasse insbesondere Holz in Österreich aufgrund des mengenmäßigen Einsatzes herausragende Bedeutung zu. Im Jahr 2021 wurden rund 612 PJ Energie, das entspricht rund 55 % der Endenergie in Österreich, zur Wärmeerzeugung verbraucht. Dazu zählt die Energiemenge zur Erzeugung von Prozesswärme, Raumwärme und –kälte sowie Warmwasser. Wie das linke Diagramm der folgenden Abbildung zeigt, entfällt der größte Anteil mit rund 36 % auf Erdgas, gefolgt von Bioenergie mit 31 %. Betrachtet man die eingesetzte Biomasse zur Gesamtwärmeerzeugung, so ist die zu rund 95 % holzbasiert. Holzabfälle, wie

beispielsweise Hackschnitzel, Sägenebenprodukte und Rinde, bzw. Scheitholz haben die größten Mengenanteile.



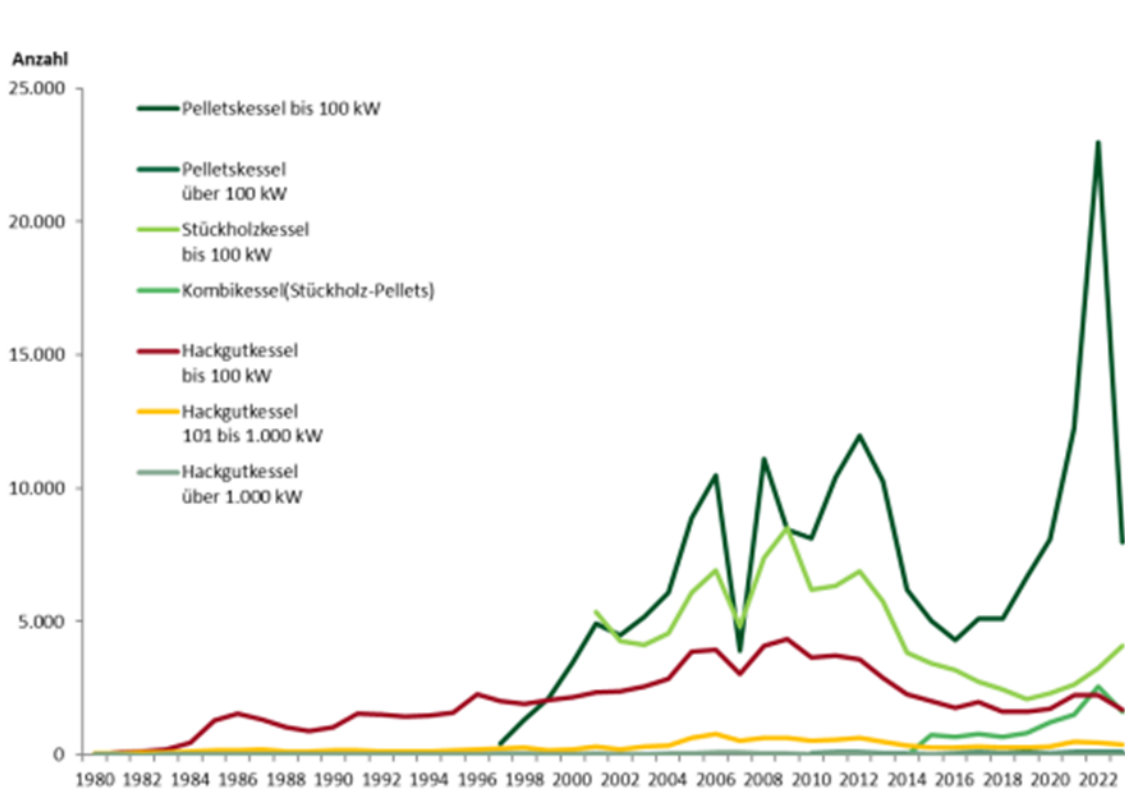
Quelle: Pfenmayer et al. 2023 – Bioenergie Atlas Österreich 2023

Abbildung 1: Energieträgermix zur Wärmeproduktion und eingesetzte Heiztechnologie in österreichischen Haushalten 2021.

Die österreichische Biomassetechnologie ist Weltmarktführer, sowohl bei der Produktion und Entwicklung der Feuerungstechnik, als auch bei den vorgelagerten Brennstoffproduktionsprozessen. Im Jahr 2022 erwirtschaftete die Biomassebranche einen Gesamtumsatz von über 5,4 Mrd. Euro mit ca. 24.000 Vollzeitbeschäftigten und einer Exportquote von rund 80 %. 2022 konnte ein Rekordumsatz bei Biomassekesseln und eine Rekordanzahl mit 31.645 errichteten Anlagen verzeichnet werden. Laut der Biomasse-Heizungserhebung, die jährlich von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich durchgeführt wird, wurden im Jahr 2023 in Österreich insgesamt 15.924 errichtet. Dies entspricht beinahe einer Halbierung gegenüber dem Vorjahr. Die Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Anzahl der jährlich neu errichteten Biomassefeuerungen 1980-2023. Von den rund 15.500 Biomassekesseln im Leistungsbereich bis 100 kW Nennwärmeleistung wurden 51 % bzw. 7.980 Pelletskessel verkauft. Dies entspricht, nach einem Rekordjahr, einem Rückgang auf ungefähr ein langjähriges Durchschnittsniveau. Im Segment der Stückholzkessel bis 100 kW konnte wiederum ein deutlicher Aufwärtstrend mit einem Plus von rund 26 % verzeichnet werden. Hackgutfeuerungen bis 100 kW wurden weniger errichtet, mit einer Verringerung von rund 25% im Vergleich zum Vorjahr. Ebenso wurde der Absatzanstieg bei Stückholz-Pellets- Kombikessel nicht nur fortgesetzt, sondern sank gegenüber dem Vorjahr um 27 % auf 1627 Anlagen. [Haneder 2022]

Bei Biomasseanlagen im Leistungsbereich von 101 – 1.000 kW wurden im Jahr 2023 429 Hackgutkessel verkauft. Das entspricht einer Reduktion von 11 %. Pelletskessel wurden in

dieser Leistungsklasse 97 Stück errichtet, das entspricht einer Verringerung von 5,8 %.
[Haneder 2024]



Quelle: Haneder H. – Biomasse-Heizungserhebung 2023 LKNÖ

Abbildung 2: Entwicklung der Anzahl der jährlich neu errichteten Biomassefeuerungen 1980 bis 2023

Auf Grund der gesundheitlich relevanten Auswirkungen sind auch bestimmte Emissionen von Holzfeuerungen in gesetzlich geregelten Grenzwerten erfasst. Bei Kleinfeuerungen und Einzelfeuerstätten sind dies die Schadstoffemissionen Gesamtstaub, Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x) und organisch gebundener Kohlenstoff (OGC).

Jahrzehnte lang mussten Heizkesseln für feste Brennstoffe (Biomassekessel) nach den Anforderungen der Europäischen Prüfnorm EN 303-5 eine Typenprüfung durchlaufen, um eine Zulassung für den EU-Markt zu erhalten. Dazu gehören neben sicherheitsrelevanten Überprüfungen und Bestimmung des Wirkungsgrades auch Emissionsmessung der Hauptschadstoffemissionen Gesamtstaub, CO, NO_x und OGC in Teil- und Nennlast. An der HBLFA Francisco Josephium BLT Wieselburg werden seit den Anfängen der Holzheizung in den 80er Jahren Heizkessel geprüft. In der folgenden Abbildung 3 ist die Entwicklung der Kohlenstoffmonoxid-Emissionen im Rahmen der Typenprüfung an der BLT Wieselburg seit

1980 ersichtlich. Die ersten Heizkessel, auf Basis von Allesbrenner-Technologie, waren durch sehr hohe CO-Emissionen auf Grund von unvollständiger Verbrennung gekennzeichnet. Durch Entwicklungen der Feuerungen speziell für Holzbrennstoffe, z.B. durch Luftstufung, konnten die Emissionen über die vergangenen Jahrzehnte von rund 20.000 mg/Nm³ auf < 100 mg/Nm³ reduziert werden.

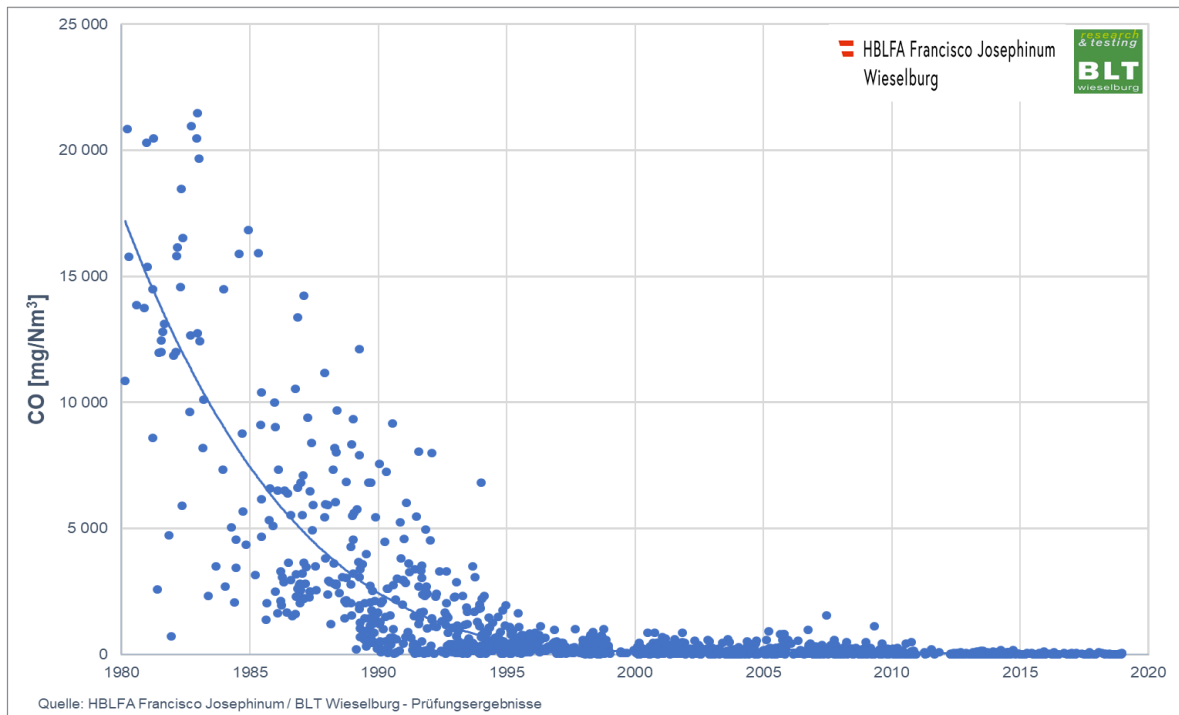


Abbildung 3: Entwicklung der CO-Emissionen bei Biomassefeuerungen von 1980 bis 2020.

Ein ähnlich deutliches Bild zeigt auch die Entwicklung der Wirkungsgrade von Biomassefeuerungen in Abbildung 4. Auch hier konnten durch Optimierung der Feuerungstechnik die Wirkungsgrade von modernen Heizkessel von 50-60 % in den 80er Jahren auf über 90 % gesteigert werden. Ab 2005 kamen auch die ersten Brennwertgeräte auf den Markt, wodurch bezogen auf den Heizwert, auch theoretische Wirkungsgrade von über 100 % erzielt wurden.

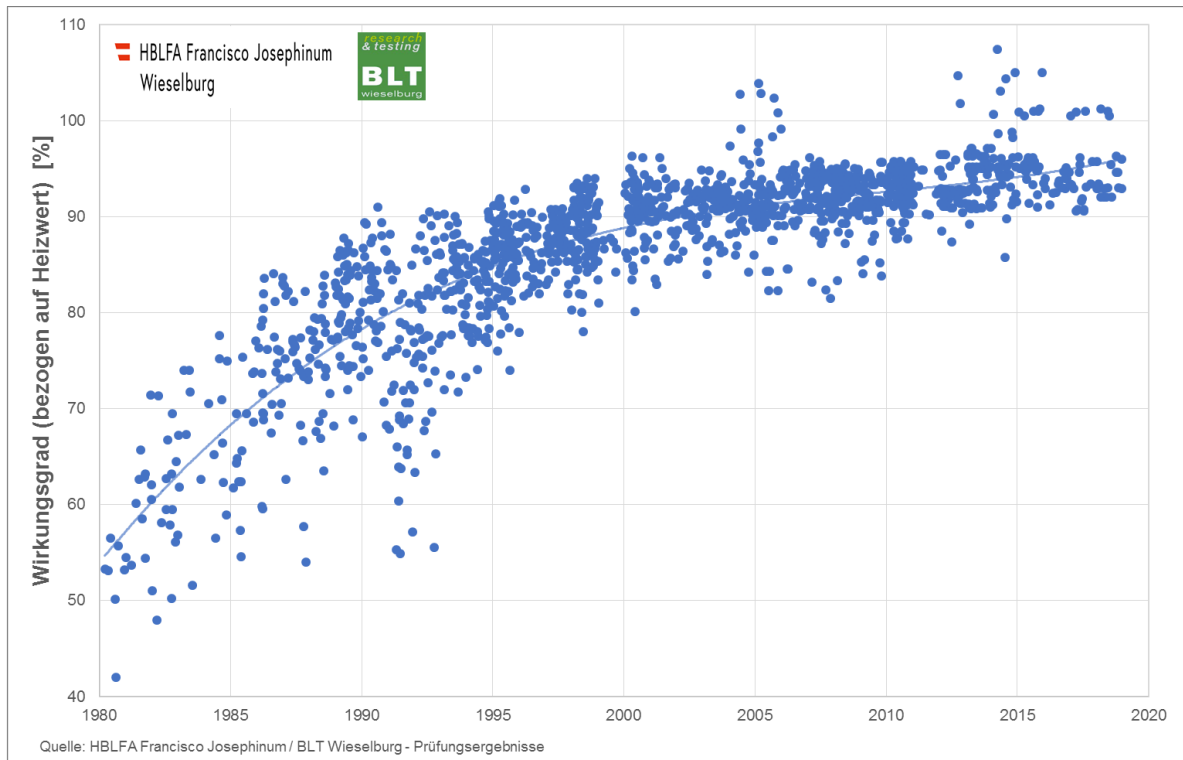


Abbildung 4: Entwicklung der Wirkungsgrade bei Biomassefeuerungen von 1980 bis 2020.

In Abbildung 5 ist die Entwicklung der Staubemissionen der letzten 40 Jahre bei Biomassefeuerungen dargestellt. Auch hier zeigt die Entwicklung einen deutlichen Trend nach unten. Durch gezielte Entwicklung und Optimierung konnten die Staubemissionen um mehr als 75 % reduziert werden. Bei Stückholzfeuerungen konnten bereits vor 2000 unter idealen Bedingungen sehr geringe Staubemissionen am Prüfstand erreicht werden. Die Entwicklung elektrostatischer Staubabscheider auch für Kleinfeuerungen, setzte neue Maßstäbe in den Möglichkeiten der Reduktion von Staubemissionen bei den Biomassefeuerungen. Damit konnten Ergebnisse bei den Staubemissionen erreicht werden, die im Bereich der Messunsicherheit bzw. darunter liegen.

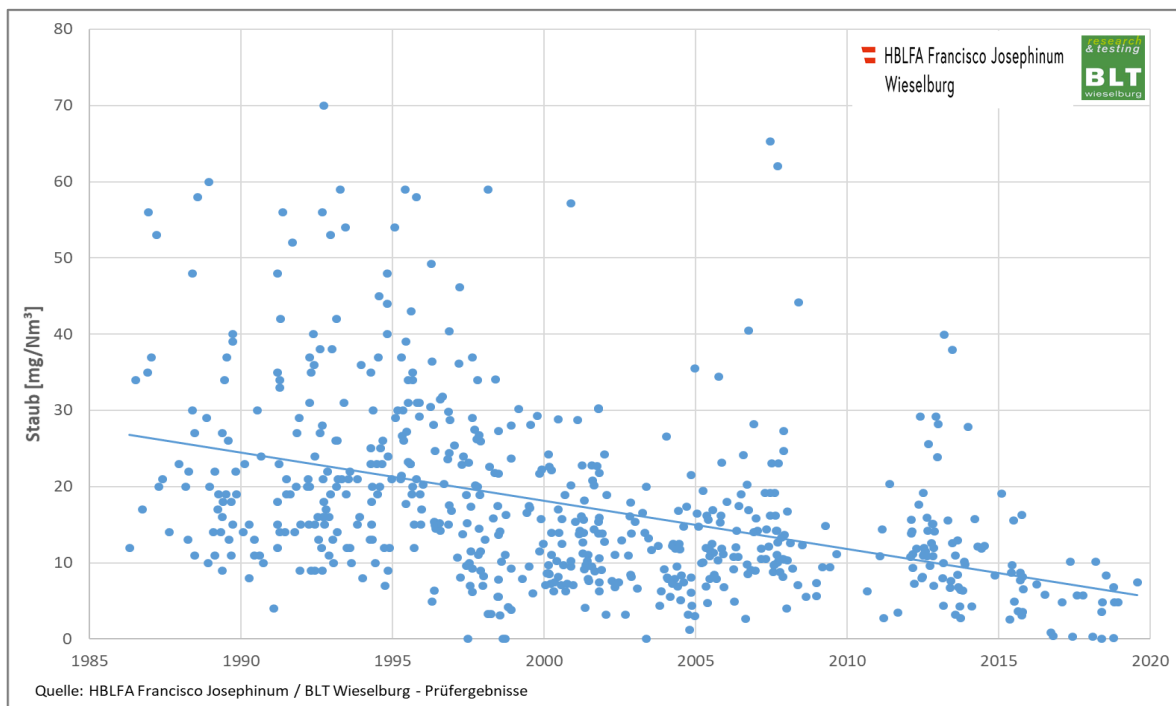


Abbildung 5: Entwicklung der Staubemissionen bei Biomassefeuerungen von 1985 bis 2020.

Nicht nur die Verbrennungstechnologie, sondern auch die geltenden Umweltstandards und Emissionsgrenzwerte sind einem fortlaufenden Wandel unterworfen. In den folgenden Abbildungen ist die Entwicklung der in Österreich geltenden Emissionsgrenzwerte für Kleinf Feuerungsanlagen dargestellt. In Österreich waren die Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen in der Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken geregelt. Als 15a-Vereinbarungen werden Verträge zwischen dem Bund und einem oder mehreren/allen Bundesländern bzw. Verträge der Länder untereinander bezeichnet. Kleinf Feuerungen durften nur in Verkehr gebracht werden, wenn die Anforderungen hinsichtlich luftreinhalterechtlicher Aspekte (Emissionsgrenzwerte für CO, NO_x und OGC) gemäß dieser Vereinbarung erfüllt wurden.

Mit der Veröffentlichung der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG hat die Europäische Kommission beschlossen, auch für Heizungsanlagen einheitliche europaweite Mindeststandards festzulegen und eine Kennzeichnung einzuführen. Die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG ist eine europarechtliche Richtlinie, die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung „energieverbrauchsrelevanter Produkte“ (englisch energy-related products, ErP) im gemeinsamen Binnenmarkt der Europäischen Union festlegt. Eine Auswirkung der ErP-Richtlinie ist, dass Heizgeräte zukünftig Energielabel wie bereits der Kühlschrank, die Waschmaschine oder der Herd tragen werden. Das Label informiert mit der Angabe einer Effizienzklasse (z.B. A++ für sehr gut) und einer Farbskala von Grün

(sparsam) bis Rot (verschwenderisch) über den Energieverbrauch. Zusätzlich gibt es auch die Heizleistung, Wirkungsgrad und den Schalleistungspegel an.

Die ErP-Richtlinie fasst bestimmte Cluster von Produkten in sogenannte LOTs zusammen. Heizgeräte werden in den LOTs 1, 2, 15, 20 und 21 beschrieben. Durch das Zusammenfassen in einzelne LOTs sollen Effizienz und Emissionen (Abgas, Schall) der Heizsysteme vergleichbar sein.

- Lot 1: Heizkessel und Kombiheizkessel
- Lot 2: Warmwasserbereiter (Durchlauferhitzer, Warmwasser-Wärmepumpen, solare Warmwasserbereiter sowie alle Arten von Warmwasser- und Pufferspeichern)
- Lot 15: Kleine Heizgeräte für Festbrennstoff (Pelletskessel, Hackschnitzel-Anlagen und Scheitholzessel)
- Lot 20: Einzelraumheizgeräte (Öfen)
- Lot 21: Warmluftzentralheizung (ohne CHP – zentrale Heizungssysteme)

2015 trat die Richtlinie auch für Heizkessel (LOT 1) und Warmwasserbereiter (LOT 2) in Kraft und muss von der Industrie eingehalten werden. Das bedeutet, dass nur mehr Heizkessel und Warmwasserbereiter die die Mindestanforderungen erfüllen in der EU Inverkehr gebracht werden dürfen und diese auch nur noch mit einem Produkt- bzw. Paketlabel angeboten und verkauft werden dürfen. Die konkreten Produkthanforderungen werden von der Europäischen Kommission in Durchführungsverordnungen für einzelne Produktgruppen festgelegt. Diese bedürfen keiner gesonderten Umsetzung in nationales Recht, sondern sind unmittelbar anzuwenden. Die Ökodesign-Anforderungen treten in der Regel nach einer Übergangsfrist in Kraft. Ab dem 01.01.2020 gelten europaweit die Anforderungen der Ökodesign-Verordnungen für Festbrennstoffkessel bzw. Einzelraumheizgeräte. Die Anforderungen sind in der Verordnung (EU) 2015/1189 der Kommission vom 28. April 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoffkesseln bzw. in der Verordnung (EU) 2015/1185 der Kommission vom 24. April 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräten definiert. Da diese Anforderungen für manche nationalen Bestimmungen sehr ambitioniert sind, wurde eine Übergangsfrist von 5 Jahren vereinbart. Die neuen Grenzwerte traten 2020 in Kraft, um der europäischen Industrie die Chance zu geben, die Heizkessel und Öfen auch entsprechend anzupassen.

In Abbildung 6 ist die Entwicklung der Emissionsgrenzwerte für CO umgerechnet in mg/m^3 dargestellt. Sowohl in der 15a-Vereinbarung als auch in der entsprechenden EU-Verordnung werden die CO-Emissionen in jene für Zentralheizgeräte mit automatischer und jene für händischer Beschickung unterteilt. Wobei für Zentralheizgeräte mit händischer Beschickung deutlich höhere CO-Emissionen zulässig sind als für Zentralheizgeräte mit automatischer Beschickung. Die rote und die schwarze Linie visualisieren die historische Entwicklung der 15a-Vereinbarung für das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungsanlagen. Im Jahr 2011 wurden die Grenzwerte sowohl für automatisch- als auch für händisch-beschickte Anlagen deutlich reduziert. Für Stückholzfeuerungen wurden die zulässigen CO-Emissionen mehr als halbiert. Die violette und die grüne Linie markieren die neuen Grenzwerte der Europäischen Verordnung zur Ecodesign Anforderung für Heizkessel mit einer Leistung bis zu 70 kW. Im Rahmen der EU-weiten Anpassung der Anforderungen an Heizkessel wurden die Grenzwerte für Anlagen mit händischer Beschickung mit $700 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ und mit automatischer Beschickung mit $500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ festgelegt.

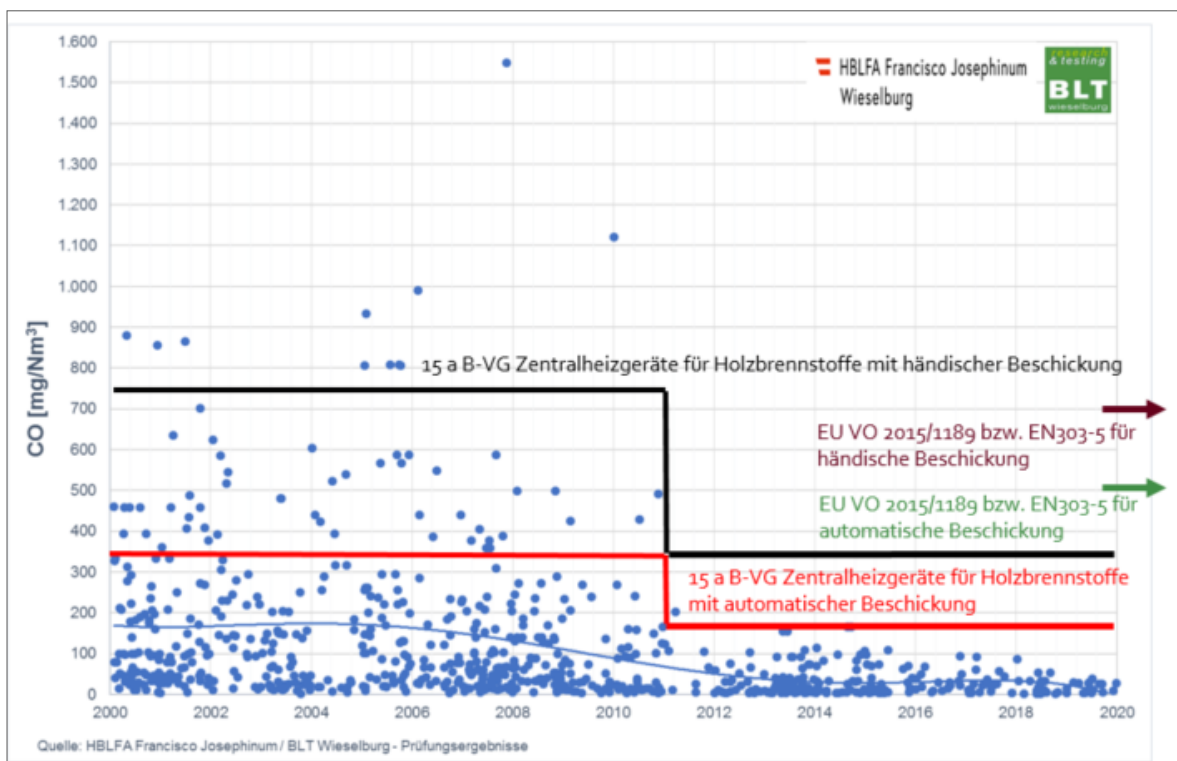


Abbildung 6: Entwicklung der Grenzwerte für Kohlenmonoxid-Emissionen von 2000 bis 2020.

In der folgenden Abbildung 7 ist die Entwicklung der Staubgrenzwerte seit 1985 dargestellt. Anders als bei den CO-Emissionen hat die 15a-Vereinbarung hinsichtlich Staubemissionen nicht zwischen händisch und automatisch beschickten Feuerungssysteme unterschieden. Mit der Neuauflage der 15a-Vereinbarung 2011 wurden die Grenzwerte zum ersten Mal

und 2015 das zweite Mal von ursprünglich 40 mg/Nm³ auf 20 mg/Nm³ reduziert. Mit der Einführung der Europäischen Verordnung zur Ecodesign Anforderung für Heizkessel wurden die Staubgrenzwerte für automatisch beschickte Feuerungen auf 40 mg/Nm³ und für händisch beschickte Feuerungen auf 60 mg/Nm³ erhöht.

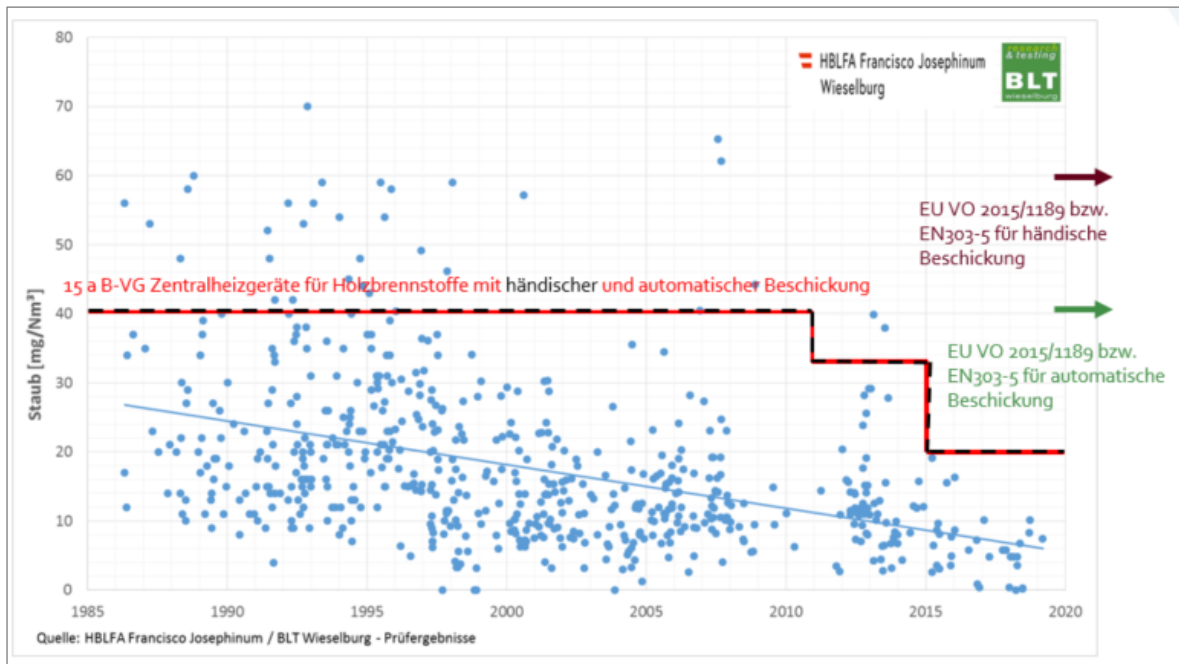


Abbildung 7: Entwicklung der Grenzwerte für Staub-Emissionen von 1985 bis 2020.

Mit der Einführung der Ökodesign-Richtlinie wurde die klassische Typenprüfung von Feuerungsanlagen ersetzt. Während zuvor für das Inverkehrbringen eine positive Typenprüfung durch eine unabhängige akkreditierte Prüfeinrichtung gemäß den Anforderungen der Prüfnorm EN 303-5 notwendig waren, muss jetzt der Hersteller selbst für die Einhaltung der Ökodesign-Anforderungen Sorge tragen. Als Nachweis für die Einhaltung der Vorschriften wird die CE-Kennzeichnung verwendet. Die Verantwortung für die Erfüllung hat derjenige, der das betroffene Produkt im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr bringen will. Das ist im Allgemeinen der Hersteller oder sein Bevollmächtigter und in bestimmten Ausnahmen der Importeur des Produktes.

Der Hersteller eines betroffenen Produktes bzw. dessen Bevollmächtigter muss folgende wichtige Schritte erledigen:

- Berücksichtigung der Ökodesign- Anforderungen bei der Produktentwicklung
- Durchführung einer Konformitätsbewertung und Erstellung technischer Unterlagen

- Ausstellung einer Konformitätserklärung und Anbringen der CE-Kennzeichnung auf dem Produkt
- Anbringen eventuell weiterer vorgeschriebener Informationen auf dem Produkt
- Aufbewahrung der Unterlagen zur Konformitätsbewertung und der abgegebenen Konformitätserklärungen bis zehn Jahre nach Produktionsende
- Vorlage der Unterlagen auf Anforderung der zuständigen Marktüberwachungsbehörde
- Bereitstellung zusätzlicher Informationen für die Verbraucher (falls vorgeschrieben)

Verbraucherinnen und Verbraucher müssen sich darauf verlassen können, dass die Anforderungen an die Energieeffizienz eingehalten und Produkte mit dem Energielabel korrekt gekennzeichnet werden. Um die politischen Ziele im Bereich Klimaschutz und Energie zu erreichen, stellen der Vollzug der Ökodesign-Richtlinie und der Energielabel-Verordnung eine wesentliche Maßnahme dar. Die Mitgliedstaaten sind per Verordnung dazu verpflichtet, erforderliche Maßnahmen zu ergreifen, um sicherzustellen, dass Produkte nur in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden, die den geltenden Durchführungsmaßnahmen entsprechen und die CE- Kennzeichnung tragen.

Die Mitgliedstaaten benennen für die Marktaufsicht zuständige Behörden. Zudem legen die Mitgliedsstaaten die Aufgaben, Befugnisse und organisatorischen Vorkehrungen für die zuständigen Behörden fest, um die geforderte Durchführungsmaßnahme zu erfüllen. Die genannten Behörden sind befähigt:

- in angemessenem Umfang geeignete Kontrollen der Konformität der Produkte zu veranlassen und den Hersteller oder den Bevollmächtigten zu verpflichten, nichtkonforme Produkte vom Markt zu nehmen,
- von den Betroffenen sämtliche notwendigen Informationen anzufordern, die in den Durchführungsmaßnahmen genau angegeben sind,
- Proben von Produkten zu nehmen und diese einer Konformitätsprüfung zu unterziehen.

In weiterer Folge haben die Behörden der Mitgliedsstaaten laufend Informationen bereit zu stellen und der Kommission Bericht zu erstatten, über die Ergebnisse der Marktaufsicht. Auch den Verbrauchern und anderen Betroffenen muss die Möglichkeit eingeräumt werden, an die zuständigen Behörden Bemerkungen im Zusammenhang mit der Konformität von Produkten zu richten.

Sowohl bei Heizkesseln als auch bei Einzelraumheizgeräten können die Behörden einzelne Modelle aus dem Markt auswählen. Von diesen wird ein einzelnes Exemplar mit den entsprechenden Brennstoffen geprüft. Das Nachprüfverfahren gilt als positiv bestanden, wenn die in den technischen Spezifikationen des Herstellers angegebenen Werte, unter Berücksichtigung der per Verordnung erlaubten Prüftoleranzen, bestätigt und nachgewiesen werden.

Neben den gesetzlich verpflichtenden Grenzwerten zum Inverkehrbringen im Rahmen der Ökodesign-Verordnung, ist für Hersteller und letztlich auch für den Kunden die Einhaltung von Förderrichtlinien entscheidend. Die Grenzwerte von Förderrichtlinien sind in der Regel weit schärfer als jene für das Inverkehrbringen und stellen Hersteller oftmals vor große Herausforderungen. Die Anforderungen sind von den jeweiligen Förderstellen individuell geregelt und oftmals an einen Zeitraum gebunden. Die Höhe und Modalitäten sind daher bei den jeweiligen Förderstellen in Erfahrung zu bringen.

3 Emissionsentstehung

Bei der energetischen Nutzung von biogenen Festbrennstoffen zur Wärmegewinnung werden neben den Hauptprodukten Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf auch immer unerwünschte luftgetragene Stoffe emittiert. Ein idealer Brennstoff würde nur aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, der dann wie zuvor beschrieben unter idealen Verbrennungsbedingungen mit reinem Sauerstoff als Oxidationsmittel vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf umgesetzt werden könnte.

Dieser idealisierte Prozess wird jedoch bei der tatsächlichen Biomasseverbrennung durch die Inhaltsstoffe im Brennstoff, der Reaktionen im Brennraum mit den Luftbestandteilen sowie der eingesetzten Verbrennungstechnik beeinflusst. Obwohl diese gasförmigen und aerosolartigen Stoffe im Abgas nur in sehr geringen Konzentrationen auftreten, spielen sie auf Grund ihrer Wirkung auf die Umwelt, eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Luftreinhaltung. Bei der thermischen Umsetzung von biogenen Festbrennstoffen entstehen somit Emissionen, die auf Grund ihrer Herkunft aus vollständiger bzw. unvollständiger Verbrennung, unterteilt werden können.

Zu den wesentlichen lufthygienischen Emissionskenngrößen von Holzfeuerungen zählt der Partikelaustritt (PM-Emissionen oder Staub-Emissionen) (Kessler et al. 2000). Im Vergleich zu fossilen Energieträgern wie Heizöl oder Erdgas, weisen Holzbrennstoffe einen höheren Aschegehalt auf, wodurch in weiterer Folge auch höhere Staubemissionen entstehen. Staubemissionen sind definiert als eine disperse Verteilung von schwebenden Feststoffen im Abgas. Die Staubemissionen können eine Teilchengröße von 1 bis zu 250 µm aufweisen, wobei die Teilchen häufig nur so groß wie Molekülkomplexe sind. Staubemissionen, insbesondere jene, anthropogenen Ursprungs, aus Verbrennungs- und Industrieprozessen, können maßgebliche negative Auswirkungen auf Menschen und Tiere sowie Klima und Vegetation haben (Oberberger et al. 2005). Aus diesem Grund sind die zulässigen Staubemissionen in gesetzlichen Emissionsvorschriften und Richtlinien limitiert. Staubemissionen können nach Art der Entstehung bzw. nach der Größe der Partikel unterteilt werden. Prinzipiell lassen sich Staubemissionen in zwei Kategorien, grobe Flugasche und Aerosole (Feinstäube), unterteilen. Grobe Flugasche entsteht durch Aufwirbelung von Asche- und Holzkohlepartikel, die in weiterer Folge mit dem Abgas aus dem Brennraum ausgetragen werden. Typische Partikelgrößen von grober Flugasche liegen

zwischen 10 und 250 μm . Die zweite Fraktion stellen die sogenannten Aerosole dar. Ihre Bildungsmechanismen sind weitaus komplexer und sie sind durch Partikeldurchmesser deutlich unter 1 μm gekennzeichnet. Aerosolemissionen können aus vollständiger oder unvollständiger Verbrennung resultieren (Lenz 2014).

Mit Hilfe von adäquater Anlagentechnologie und Regelungstechnik können gute Verbrennungszustände erzielt und somit die Bildung beeinflusst werden. Das bedeutet je vollständiger die Verbrennung der Gasausbrandphase, desto geringer ist die Anzahl an Kohlenstoffverbindungen, die beim Abkühlen des Rauchgases zu Staubpartikeln kondensieren können. Auf anorganische Aerosole kann in einem wesentlich geringeren Ausmaß Einfluss genommen werden. Hier sind die chemische Zusammensetzung des Brennstoffes sowie das Freisetzungsverhalten der Aerosolbildner die bestimmenden Einflussfaktoren für die Feinstaubbildung. Bei hohen Konzentrationen an K, S, Cl sind sehr hohe Aerosolemissionen zu erwarten. D.h. hier kann durch eine entsprechende Brennstoffqualität Einfluss genommen werden. Die Maßnahmen zur Reduktion der Schadstofffreisetzung werden in primäre und sekundäre Maßnahmen eingeteilt. Primärmaßnahmen können durch Optimierung der Betriebszustände der Feuerungsanlage erreicht werden. Die Bildung von Staub- und NO_x -Emissionen kann durch die Feuerraumgeometrie, die Verbrennungstemperatur und durch gezielte Verbrennungsführung, z.B. durch eine Luftstufung in getrennten Feuerraumbereichen, primär beeinflusst werden. Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass mit Primärmaßnahmen alleine keine Reingaswerte zu erwarten sind, d.h. sekundäre Abscheidemaßnahmen werden erforderlich sein (Oberberger 2007) (Nussbaumer 2009).

Die Emissionen von CO und gasförmigen Kohlenwasserstoffen können durch primäre bzw. sekundäre Schadstoffbildung hervorgerufen werden und dienen üblicherweise als Kriterium zur Beurteilung der Verbrennungsqualität von Feuerungsanlagen. Bei der primären Schadstoffbildung rühren die CO Emissionen aus der unvollständigen Oxidation, die unter anderem auch maßgeblich von der Temperatur während der Verbrennung abhängig ist. Eine rasche und möglichst vollständige Umsetzung des Kohlenstoffmonoxids erfolgt bei Temperaturen von mehr als 800 $^{\circ}\text{C}$, entsprechenden Verweilzeiten sowie ausreichendem Sauerstoffanteil und Durchmischung. Insbesondere das richtige Maß an Luftüberschuss und die Güte der Durchmischung mit der Verbrennungsluft sind von besonderer Relevanz. Obwohl bei hohem Luftüberschuss zwar genug Sauerstoff zur Verfügung steht, kann dadurch auch die Flamme zu sehr gekühlt werden, um eine vollständige Oxidation von CO zu ermöglichen. Zu geringer Luftüberschuss führt jedoch zur Reduktion des Sauerstoffangebotes in der Verbrennungsluft, wodurch die Emissionen von

nicht oxidierten Kohlenwasserstoffen und CO deutlich zunehmen. Da der oxidative Abbau der Kohlenwasserstoffe wesentlich schneller als die Weiteroxidation des Kohlenmonoxids abläuft, sind die Kohlenmonoxid-Emissionen in der Regel eine Größenordnung höher als die Kohlenwasserstoff-Emissionen. Bei der sekundären Schadstoffbildung kann Kohlenstoffdioxid an Kohlenstoffpartikeln zu Kohlenstoffmonoxid reduziert werden bzw. bei hohen Temperaturen der Kohlenstoff mit Wasserdampf zu CO und Wasserstoff reduziert werden (Nussbaumer 2009).

Neben den Schadstoffen Kohlenmonoxid und Staubpartikel können Stickoxide sowohl bei vollständiger und unvollständiger Verbrennung auftreten. Stickoxid ist der Sammelbegriff für die beiden Oxide des Stickstoffs, Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂), die bei der Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen gebildet werden. Obwohl quantitativ die Emission von NO überwiegt, dieses jedoch in der Atmosphäre rasch zu NO₂ umgewandelt wird, werden die NO_x-Emissionen in NO₂-Äquivalenten angegeben. Das heißt, bei Konzentrationsangaben wird unabhängig von der tatsächlichen Zusammensetzung des Abgases, Stickoxid als Stickstoffdioxid berechnet. Im Wesentlichen werden die Stickoxide auf dreierlei Weisen gebildet:

- Thermisches NO_x bildet sich aus Luft-Sauerstoff und Luft-Stickstoff bei Temperaturen oberhalb von 1300 °C bis 1400 °C. Diese Temperaturen treten bei Kleinfeuerungsanlagen mit biogenen Festbrennstoffen in der Regel kaum auf, wodurch auch die thermische NO_x-Bildung bei typischen Temperaturen und Verweilzeiten in Biomassefeuerungsanlagen zu vernachlässigen ist.
- Promptes NO_x entsteht durch Reaktionen von Stickstoffatomen mit Kohlenwasserstoff-Radikalen im Temperaturbereich oberhalb von 1500 °C, wobei atomarer Stickstoff freigesetzt wird. Dieser atomare Stickstoff reagiert in weiterer Folge mit Sauerstoff zu NO. Ebenso wie das thermische NO_x hat auch das prompte NO_x keine Bedeutung bei der Biomasseverbrennung.
- Chemisches NO_x oder Brennstoff NO_x entsteht aus dem Stickstoff, der in organischer Form im Brennstoff gebunden ist. Die bei der Biomasseverbrennung gebildeten NO_x-Emissionen stammen hauptsächlich aus dem Brennstoffstickstoff und nehmen mit der Temperatur zu. Die Stickoxid-Emissionen nehmen jedoch nicht proportional mit dem Stickstoffgehalt des Brennstoffes zu. So ist die relative Bildung von Stickoxiden bei hohem Stickstoffgehalt deutlich geringer als bei niedrigem Stickstoffgehalt (Marutzky / Seeger 1999).

4 Untersuchungen zur Reduktion von Emissionen bei Einzelraumheizgeräten mittels Katalysator

Stückholzbefeuerte Einzelraumheizgeräte weisen überwiegend eine sehr einfache Verbrennungstechnik ohne elektronische Regelung auf, die häufig nur mit manuellen Einstellungsmöglichkeiten ausgestattet sind. Dadurch haben Anlagenbetreiberinnen und –betreiber einen maßgeblichen Einfluss auf das Emissionsverhalten der Geräte. Neben der Auswahl der richtigen Brennstoffqualität umfassen diese Einflussfaktoren im Wesentlichen die Handhabung und Betriebsweise wie das Anzünden, Art und Zeitpunkt des Nachlegens sowie die adäquate Lufteinstellung.

Die Auswahl des Brennstoffes und die richtige Lagerung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen von Einzelraumheizgeräten. Die zulässigen Brennstoffe sowie die notwendigen Qualitäten bzw. Eigenschaften sind vom Hersteller in der Bedienungsanleitung angegeben. Neben eingesetzten Brennstoffarten können sich auch die Aufbereitungsform und ganz wesentlich der Wassergehalt positiv oder negativ auf das Emissionsverhalten auswirken.

Zudem macht das Anheizen des Kaminofens einen großen Anteil an den gesamten Emissionen aus. Vor allem bei einem unsachgemäßen Anzünden werden die gebildeten Holzgase häufig nicht vollständig verbrannt. Das liegt überwiegend daran, dass noch keine ausreichenden Temperaturen in der Brennkammer vorherrschen. Als Folge der unvollständigen Verbrennung der gebildeten Holzgase entstehen Feinstaub vor allem in Form von Ruß, PAK und Teeren sowie Kohlenmonoxid. Je nach gewählter Anzündmethode wird dieser Zustand unnötig lange aufrecht gehalten. Deshalb sollte beim Anzünden darauf geachtet werden, dass die benötigten Temperaturen möglichst rasch erreicht werden, z.B. durch das sogenannte Anzünden von oben. Selbiges gilt für den Zeitpunkt des Nachlegens. Nachdem die Brennstoffauflage abgebrannt ist, sollte spätestens dann nachgelegt werden, wenn keine sichtbaren Flammen mehr zu erkennen sind, um ein unnötiges Auskühlen der Brennkammer zu vermeiden.

Neben der Verbrennungstemperatur ist auch eine entsprechende Verbrennungsluftversorgung entscheidend. Moderne Einzelraumheizgeräte für Stückholz sind in der Regel ähnlich aufgebaut. Über einen zentralen Verbrennungsluftstutzen strömt die Verbrennungsluft in den Ofen. Die Primärluft wird durch den Rost in die Hauptbrennkammer geleitet. Die Sekundärluft wird über die Scheibenspülluft und bei modernen Öfen häufig zusätzlich über Düsen in der Rückwand des Ofens zugeführt. Die Sekundärluft und die Tertiärluft dienen zum möglichst vollständigen Ausbrand des Holzgases. Die Primärluft wird vor allem während des Anheizens bei noch kalter Brennkammer benötigt, um ein besseres Zünden des Brennstoffs und eine raschere Temperatursteigerung zu ermöglichen. Die Primärluft wird nach dem ersten Abbrand geschlossen, um eine übermäßige Holzgasproduktion und eine zu hohe Temperaturentwicklung zu verhindern. Die Sekundärluft sollte während des Anheizens ebenfalls vollständig geöffnet sein. Nach dem ersten Abbrand ist die Sekundärluft entsprechend den Herstellerangaben für ideale Verbrennungsbedingungen einzustellen.

4.1 Zielsetzung der Verbrennungsversuche

Im Vergleich zu anderen Heizsystemen weisen Scheitholzkaminöfen die höchsten Staub- und CO-Emissionen auf. Die Beurteilung der richtigen Brennstoffqualität aber vor allem die Verbrennungsluftregelung für ideale Verbrennungsbedingungen überfordert viele Betreiberinnen und Betreiber. Darum werden viele Einzelraumheizgerät in der Praxis falsch bedient, was wiederum mit hohen Emissionen einhergeht und somit die Verwendung auch öffentlich sehr kritisch diskutiert wird.

Im Zuge von Versuchsreihen in Kooperation mit einem Unternehmenspartner wurde die Möglichkeit und die Funktionsweise eines Katalysators zur nachträglichen Abgasreinigung von Holzkaminöfen untersucht. Ziel der Versuchsreihen war die Entwicklung eines Katalysator-Prototypen zur Reduktion der luftgetragenen Schadstoffe Staub-, CO- und organisch gebundener Kohlenstoff (OGC). Das System soll als Nachrüstvariante die Emissionen von Einzelraumfeuerstätten reduzieren. Es wird am Feuerraumausgang bzw. im Abgasrohr eingesetzt und soll hier vor allem die Oxidation von Kohlenmonoxid und gasförmigen organischen Verbindungen katalytisch unterstützen. Neben der katalytischen Oxidation der Kohlenstoffverbindungen wurde auch untersucht, ob unter Umständen eine gewisse Staubminderung durch mechanische Abscheidung von Partikeln in der Materialstruktur und durch Oxidation brennbarer Partikel erfolgt. Auf Grund der hohen

Abgastemperaturen wurde auch untersucht, ob es einen positiven katalytischen Effekt auf die Staubemissionen aus unvollständiger Verbrennung (d. h. organische Partikel) gibt.

Neben den Untersuchungen zur Abscheideleistung wurden auch Messungen zum Strömungsverhalten durchgeführt. Diese Messergebnisse bilden die Basis für laufende Optimierungsarbeiten zur Identifikation von technischen Lösungsansätzen hinsichtlich Filtereffektivität und Sicherheit, Reinigung und Praktikabilität einer katalytisch unterstützten Minderung von Emissionen.

Für den Einsatz bei der Biomassefeuerung ist ein Katalysator erwünscht, welcher eine große Bandbreite an Kohlenstoffverbindungen oxidiert. Hierbei ist darauf zu achten, dass die verwendeten Trägermaterialien ausreichend robust, aber auch genügend offenporig sind, um sowohl Stabilität als auch einen geringen Druckverlust zu gewährleisten. Das System sollte möglichst kostengünstig, wartungsarm und bedienerfreundlich als Nachrüstooption für Kaminöfen und Einzelraumfeuerstätten entwickelt werden.

4.2 Methodik der Verbrennungsversuche am Prüfstand

Schwerpunkt der Tätigkeiten von Arbeitspaket 2 liegt in der Untersuchung der Abscheideleistung und Effektivität von unterschiedlichen Katalysatortypen. Im Rahmen von Verbrennungsversuchen mit einem Kaminofen nach aktuellem Stand der Technik mit einer Nennwärmeleistung von 8 kW am Prüfstand werden unterschiedliche katalytische Materialien eingesetzt. D.h. Prototypen mit unterschiedlicher Bauart, Einbauposition und Beschichtungen. Hierzu werden metallische und keramische Substrate verwendet. Die Ergebnisse bilden die Basis für die Substratauswahl.

Die methodische Grundlage der Verbrennungsversuche bilden technische Regelwerke wie beispielsweise die ÖNORM EN 16510-1 Häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren. Die Versuche bestehen aus mindestens 2, meistens jedoch 3 bis 4 aufeinander folgende Brennstoffauflagen. Die Messdurchführungen wurden in Anlehnung an die Anforderungen der ÖNORM EN 16510-1 gewählt. Nach dem Anzünden und einer Vorheizauflage folgte jeweils der Messstart mit den Volllastauflagen mit je rund 2 kg Brennstoff. Der Zeitpunkt des Nachlegens wurde erreicht, sobald der CO₂-Gehalt unter 4 % (absolut) sank.

Zur Ermittlung der Emissionen wird Buchenholz als Referenzbrennstoff verwendet. Die Feuerstätte wird wie vom Hersteller in der Bedienungsanleitung beschrieben mit der für Nennlast empfohlenen Brennstoffmenge betrieben. Im Zuge der Verbrennungsversuche werden die Standardemissionsparameter Staub, Kohlenmonoxid (CO), organisch gebundener Kohlenstoff (OGC) sowie Stickoxide (NO_x) ermittelt.

Wie in der Abbildung 8 unten dargestellt wurde die Wirkung der Katalysatortypen bei einem Messaufbau mit Messstellen vor und nach dem Katalysator durchgeführt. Somit ist die Erhebung der Emissionen mit und ohne Katalysatoreinfluss bei gleichen Betriebszuständen des Kaminofens gewährleistet.

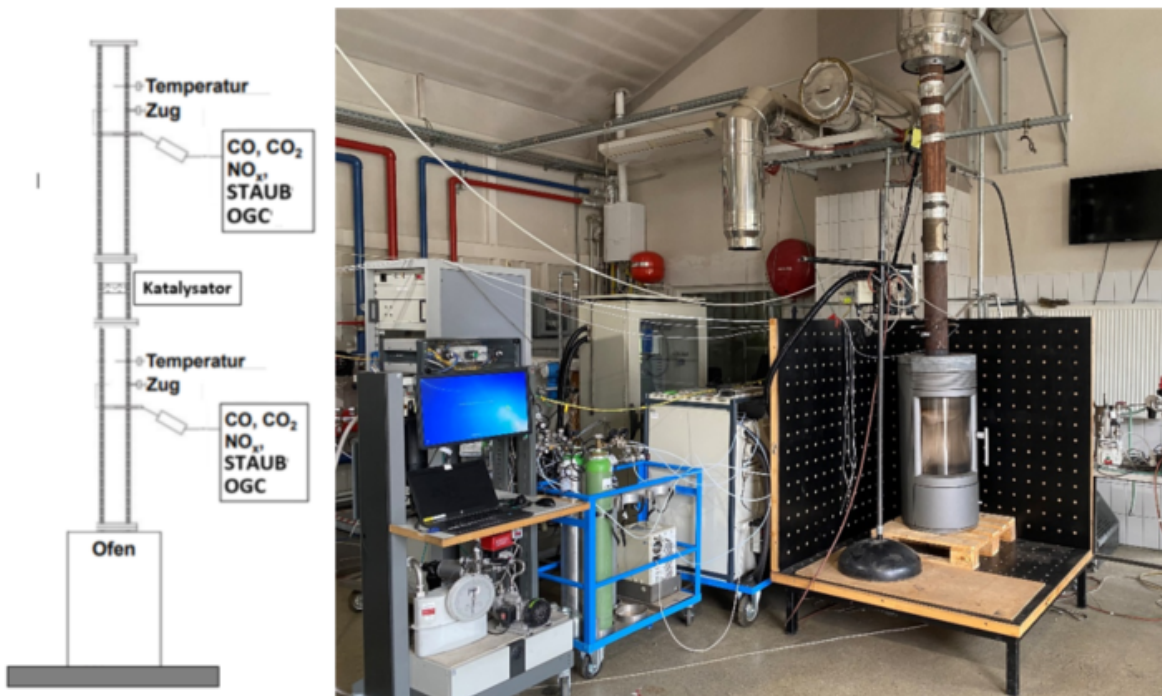


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Prüfstandsbaus und Anordnung der Messstellen für die Verbrennungsversuche.

Tabelle 1: Eingesetzte Messtechnik und –geräte für die Versuchsreihen.

EMISSIONEN	GERÄTE-ID:
NGA 2000 - CO _{Low} /CO _{High} /CO ₂ /SO ₂	ID:1240
THERMO FID "ES"	ID:1167
ECOPHYSICS CLD 700 el ht	ID:1166
Gesamtstaub gravimetrisch GOTHE "II"	ID:1173

DRUCK	
Differenzdruck halstrup walcher P26	ID:1182
Umgebungsdruck VAISALA PTB 110	ID:1156
FEUCHTE	
Umgebungsfeuchte E+E EE28	ID:1021
GESCHWINDIGKEIT	
Testo T400 + Hochtemperaturflügelradsensor	ID:1158

Die Entnahmestelle für die Bestimmung der gas- und dampfförmigen Emissionen befindet sich in der Abgasmessstrecke.

Die Messgas-Entnahme der im feuchten Abgas bestimmten Komponenten erfolgt über beheizte Filter, beheizte Messgasförderpumpe und beheizte Leitungen (auf 180 °C thermostatisiert). Die Aufteilung des Messgasstromes auf die Analysatoren erfolgt mit einem beheizten Verteilelement.

Die Messgas-Entnahme der im trockenen Abgas bestimmten Komponenten erfolgt über beheizte Filter, beheizte Messgasförderpumpe, beheizte Leitungen (auf 180 °C thermostatisiert), Gaskühler und unbeheizte Messgaszuführungsleitungen zu den Analysatoren. Die Aufteilung des Messgasstromes auf die Analysatoren erfolgt mit einem Verteilelement nach dem Messgaskühler.

Tabelle 2: Eingesetzte Prüfgase

Prüfgas		Hersteller	rel. Genauigkeit lt. Herstellerangabe	Flaschen-Nr. bzw. Flaschen-Barcode
N ₂ 5.0	Nullgas	Messer Austria	--	ID:5041
N ₂ 5.0	Nullgas	Messer Austria	--	ID:5043
CO/CO ₂ /O ₂	Prüfgas	Messer Austria	± 1 %	ID:5050
CO/CO ₂ /O ₂		Messer Austria	± 1 %	ID:5052
NO		Messer Austria	± 1 %	ID:5073
C ₃ H ₈		Messer Austria	± 1 %	ID:5047

Vor und nach jeder Versuchsperiode werden die Gasanalysatoren mit den entsprechenden Kalibriergasen überprüft. Die Ergebnisse der Kalibrierungen und Justierungen sowie die Konzentrationswerte der verwendeten Prüfgase, als auch das Herstellungsdatum und Stabilitätsgarantie sind in den Qualitätsmanagementformularen der BLT dokumentiert.

Die Messdatenerfassung erfolgt mit dem Datenerfassungssystem TopMessage der Firma Delphin Technologie AG, Abfrageintervall 1 Sekunde, Mittelwertbildung über 10 Messungen, Ablage der gemittelten Daten auf Datenträger. Für die Visualisierung der Messdaten werden die Messhaus-Software des Datenerfassungssystems und DASyLab eingesetzt.

Verwendete Feuerung

Für die Versuche wurde ein handelsüblicher Kaminofen mit einer Nennwärmeleistung von 8 kW verwendet. Der Ofen ist außen mit einem Stahlmantel verkleidet und oben mit einer Specksteinplatte abgedeckt. Der abgasseitige Anschluss des Ofens erfolgt mittels eines Rauchrohrs mit 150 mm Durchmesser auf der Oberseite des Kaminofens. Die Primärluft wird durch den Rost und über die Scheibe, die Sekundärluft über die Scheibe und separate Luftdüsen an der Rückwand zugeführt. Die Einstellung der Primär- und Sekundärluft erfolgt gleichzeitig mittels einer „Ein-Hand-Regelung“ an einem Schieber. Die Asche fällt durch den Rost in einen Aschekasten, der bei geöffneter Tür entnommen werden kann und daher mit der Türdichtung bei geschlossener Tür abgedichtet wird.

Tabelle 3: Technische Daten der eingesetzten Feuerungstechnik

TECHNISCHE DATEN Maße (mm) und Gewichte (kg)	
Höhe	1091
Breite	502
Korpustiefe	501
Gewicht ohne Mantel	155
Gewicht mit Stahlmantel	194
Gewicht mit Specksteinplatte	225
Rauchrohrabgang Durchmesser	150
Nennwärmeleistung lt. EN13240	8 kW
Kleinste Wärmeleistung	4 kW
Raumheizvermögen (m ³)	90 - 210
Brennstoffdurchsatz	2 kg/h
Wirkungsgrad	79,3 %

Der Hersteller gibt eine optimale Brennstoffmenge von 2,0 kg/h an. Diese wurde in den hier durchgeführten Versuchen auch pro Auflage übernommen.

Eingesetzte Katalysatorelemente

Für die Versuche wurden 2 unterschiedliche Katalysatorelemente eingesetzt. Zum einen ein Oxidationskatalysator mit Metallsubstrat, der im Wesentlichen aus einer wabenförmigen Struktur besteht. Auf den kanalähnlichen Zwischenräumen ist eine katalytische Beschichtung aufgebracht. Die Metallsubstrate bestehen aus einer dünnen Metallfolie, die in der Regel 0,05 mm stark ist. Laut Angaben des Herstellers wird hierfür eine Fecralloy-Folie verwendet, die aus 74 % Eisen, 21 % Chrom und 5 % Aluminium besteht. Der Vorteil von Fecralloy besteht darin, dass sich beim Erhitzen an der Luft eine Schicht aus Aluminiumoxid auf der Oberfläche bildet, die das Eisen vor Korrosion schützt und außerdem eine gute Grundlage für die katalytische Beschichtung bietet. Die Folie wird durch einen Metallring umschlossen und somit in Form gehalten.

Als zweites Katalysatorelement wurde ein Keramiksubstrat herangezogen. Dieses besteht laut Herstellerangaben aus einem Cordierit-Substrat, das mit einer katalytischen Beschichtung aus Vanadium versehen wird. Der Vorteil von Cordierit-Substraten liegt in den vergleichsweise günstigeren Anschaffungskosten.

4.3 Ergebnis der Abscheideversuche

Der folgende Abschnitt beschreibt die Ergebnisse der Untersuchungen zum Reduktionsvermögen der eingesetzten Katalysatorelemente. Hierzu werden die bei der Verbrennung entstehenden gasförmigen Emissionen CO, OGC, NO_x sowie die Staubemissionen herangezogen.

Abbildung 9 zeigt die CO-Emissionen der Verbrennungsversuche mit Metall- und Keramiksubstrat. Das Reduktionsvermögen von CO wurde durch die Auswertung der Messstellen vor und nach dem eingebauten Katalysator ermittelt. Wie in der Abbildung ersichtlich zeigen beide Substrate sehr gute Reduktionsraten. Die Versuche mit dem Keramiksubstrat zeigten CO-Reduktionen von 46 % bis 58 % und durchschnittlich 53 %. Die Versuche mit dem Metallsubstrat-Katalysator zeigten eine Reduktion der CO-Emissionen von 43 % bis 63 % und eine durchschnittliche Reduktion von mehr als 49 %.

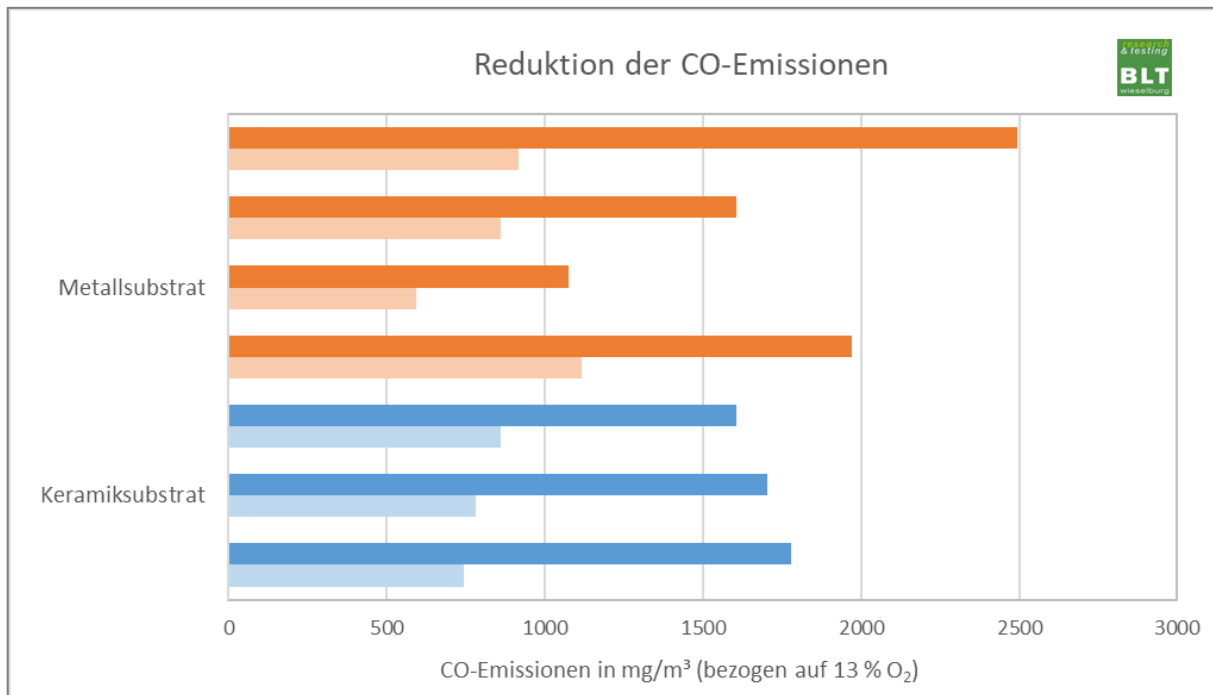


Abbildung 9: CO-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.

In Abbildung 10 ist ein typischer Verlauf der CO-Emissionen über einer Versuchsreihe von 3 aufeinanderfolgenden Abbrandperioden dargestellt. Die Grafik zeigt zudem die Emissionen mit und ohne Wirkung des Keramiksubstrat-Katalysators. Die Teillastphasen und der Ausbrand bzw. das erneute Auflegen einer Brennstofffüllung ist durch einen deutlichen Anstieg der CO-Emissionen ersichtlich. Dies ist auf eine niedrige Verbrennungstemperatur und ein ungünstiges Verbrennungsluft- Gasgemisch in der Brennkammer zurückzuführen. Der Einsatz eines Katalysators zeigt das Vermögen, in diesen ungünstigen Phasen die CO-Emissionen deutlich zu reduzieren. Im Leistungsbrand bei hohen Temperaturen und idealer Luftmischung, nähern sich die Emissionen ohne Katalysator jenen mit Katalysator. Hier könnte auch kurzfristig das Überschneiden beider Kurven festgestellt werden. Die graue Linie im Diagramm zeigt den Verlauf der Abgastemperatur. Diese war auf Grund der Speichermasse des Ofens eher geringen Schwankungen unterworfen. Sie bewegte sich über die gesamte Laufzeit in einer Schwankungsbreite von 275 °C bis 330 °C und somit nie unter dem vom Hersteller angegebenen Arbeitsbereich für die eingesetzten Katalysatoren.



Abbildung 10: Verlauf der CO-Emissionen mit und ohne Keramikkatalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.

Auch in Abbildung 11 ist der Verlauf der CO-Emissionen über die Messdauer in 3 Abbrandperioden dargestellt. Hierzu wurde ein Katalysator mit einem Metallsubstrat verwendet. Der grafische Vergleich der beiden Kurven zeigt eine deutliche Reduktion der CO-Emissionen in den kritischen Verbrennungsphasen wie zuvor. Betrachtet man den Verlauf der Abgastemperatur so lässt sich hier eine Schwankung von 270° C bis 420° C feststellen. Die Aktivierungstemperaturen für die Oxidation von CO zu CO₂ liegen laut Literatur je nach Mischung der für die katalytische Aktivierung verwendeten Materialien und je nach Abgaszusammensetzung zwischen 200 °C und 350 °C. Diese Temperaturen konnten über den gesamten Versuchsablauf bei den Nenn- und Teillastphasen erreicht werden, sodass eine CO-Reduktion auch zu erwarten war und nachgewiesen wurde.

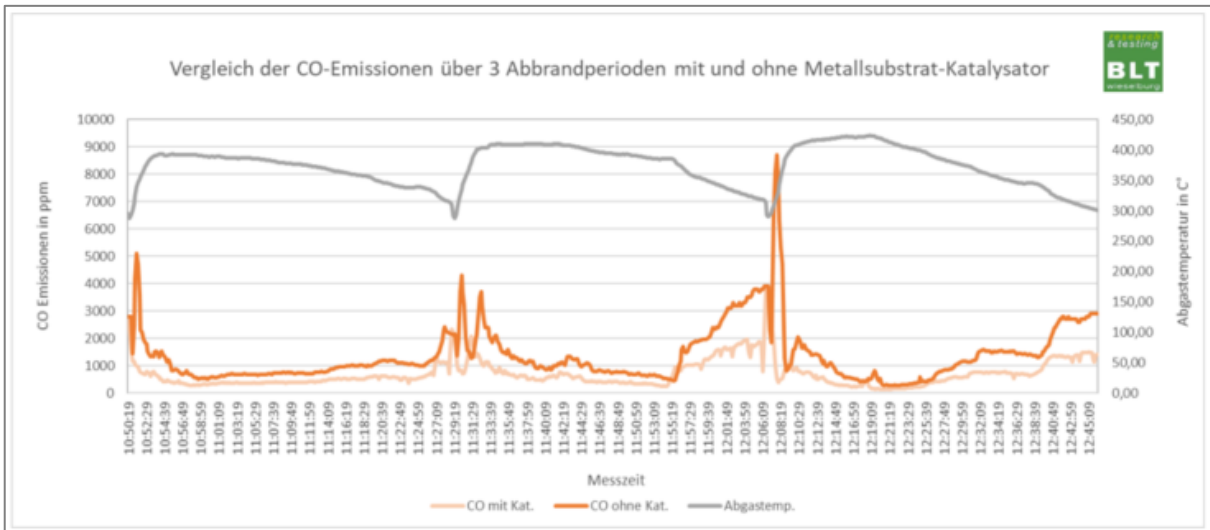


Abbildung 11: Verlauf der CO-Emissionen mit und ohne Metallkatalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.

Auch hinsichtlich der Emissionen an organisch gebundenem Kohlenstoff (OGC) zeigten beide eingesetzten Katalysatorsubstrate durchwegs gute Reduktionsergebnisse wie in Abbildung 12 dargestellt ist. Die Versuche mit dem Keramiksubstrat zeigten Abnahmen der OGC-Emissionen zwischen 15 % und 45 % je nach Einbauvariante. Die Versuche mit dem Metallsubstrat zeigten Reduktionen der OGC-Emissionen zwischen 18 % und 45 %.

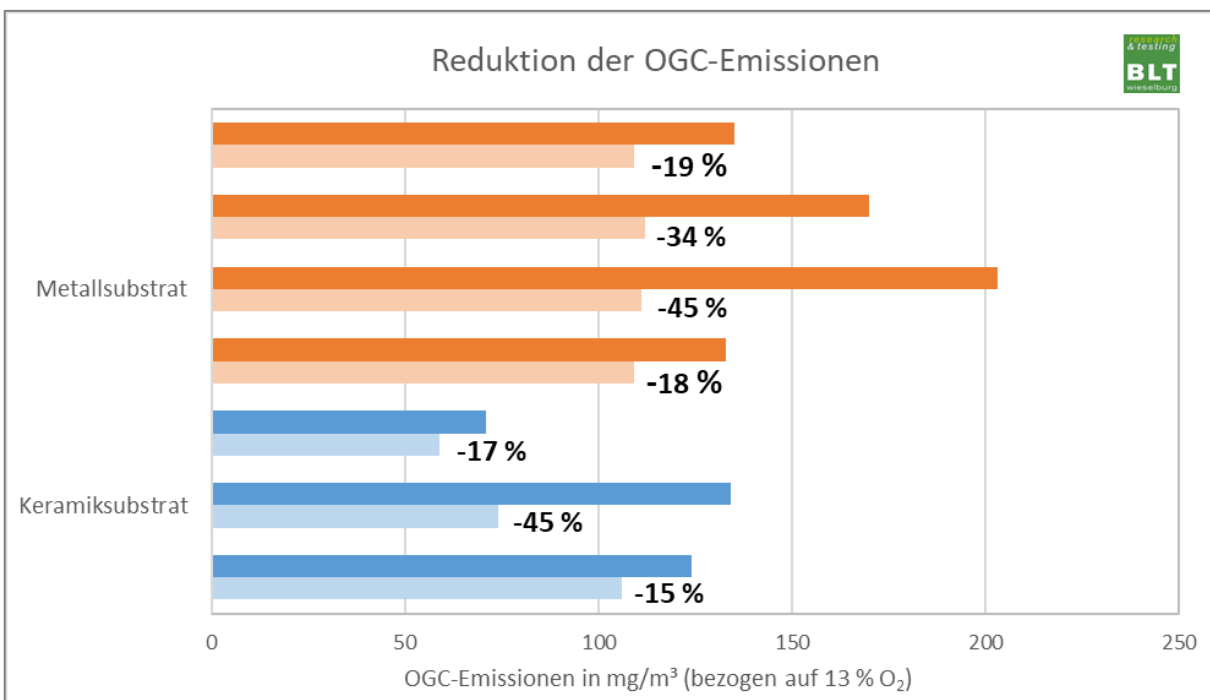


Abbildung 12: OGC-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchen.

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind die Verläufe der OGC-Emissionen über die Versuchsdauer von 3 Abbrandperioden dargestellt. Wie auch bei den CO-Emissionen zeigen beide Katalysatorsubstrate ihr deutlichstes Reduktionsvermögen bei den ungünstigen Verbrennungszuständen im Teillastbereich und beim Ausbrand sowie beim Nachlegen. Jedoch wird ersichtlich, dass OGC im Vergleich zu den CO-Emissionen deutlich weniger reduziert wird. Insbesondere in Abbildung 14 ist ersichtlich, dass die Emissionen mit sinkender Abgastemperatur steigen, der Katalysator jedoch die Emissionsspitzen nicht in der gleichen Qualität wie bei den CO-Emissionen reduziert.

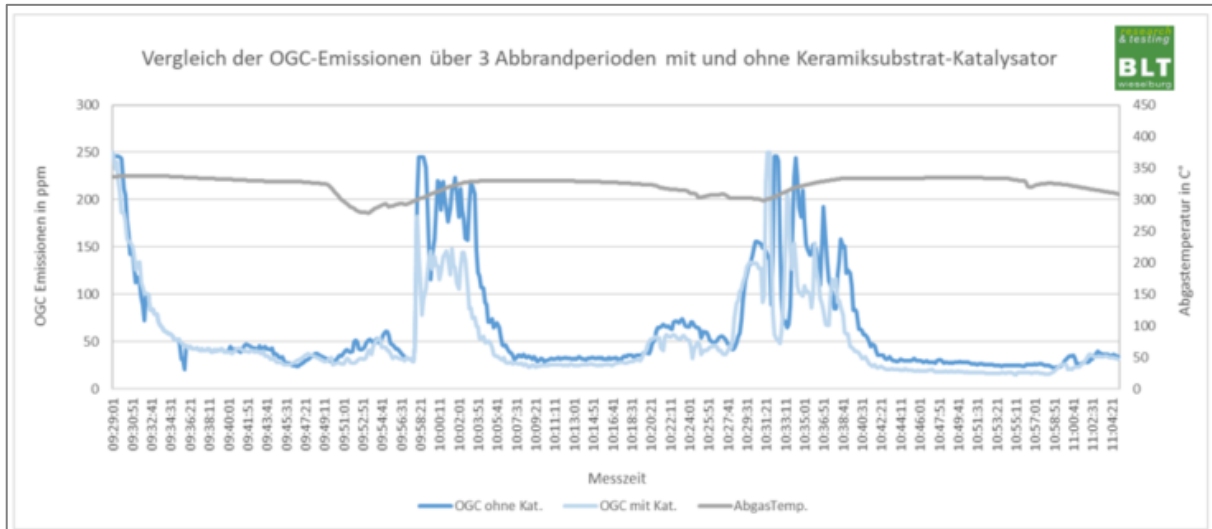


Abbildung 13: Verlauf der OGC-Emissionen mit und ohne Keramiksubstrat-Katalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.

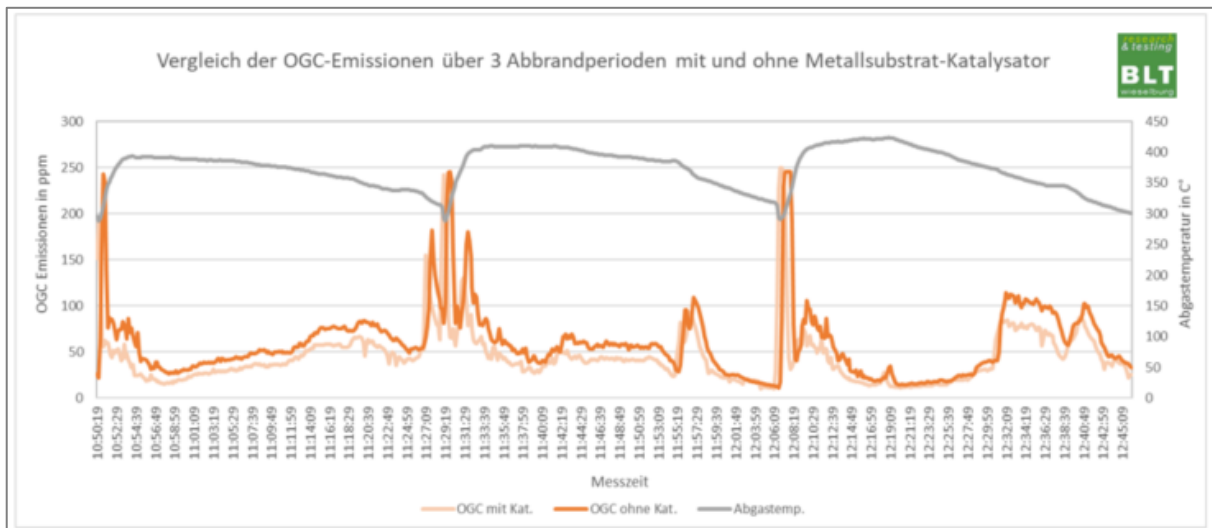


Abbildung 14: Verlauf der OGC-Emissionen mit und ohne Metallsubstrat-Katalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.

Neben den CO- und OGC-Emissionen wurden auch die NO_x-Emissionen sowie das Reduktionsverhalten der beiden Katalysatorsubstrate untersucht. Der Vergleich beider Substrate ist in Abbildung 15 dargestellt. Während bei den Versuchen mit dem Keramiksubstrat noch Reduktionen der NO_x-Emissionen von 2 % bis 12 % festgestellt wurden, zeigten die Versuche mit dem Metallsubstrat kein eindeutiges Reduktionspotential. Die Ergebnisse zeigten, dass es bei den Abbrandversuchen zu keiner zuverlässigen katalytisch bedingten Reduzierung der NO_x-Emissionen kam. Die Bandbreite in den Ergebnissen können vermutlich mehr auf die erhöhten Schwankungen der Messwerte bei Kaminöfen als auf katalytische Effekte zurückzuführen sein.

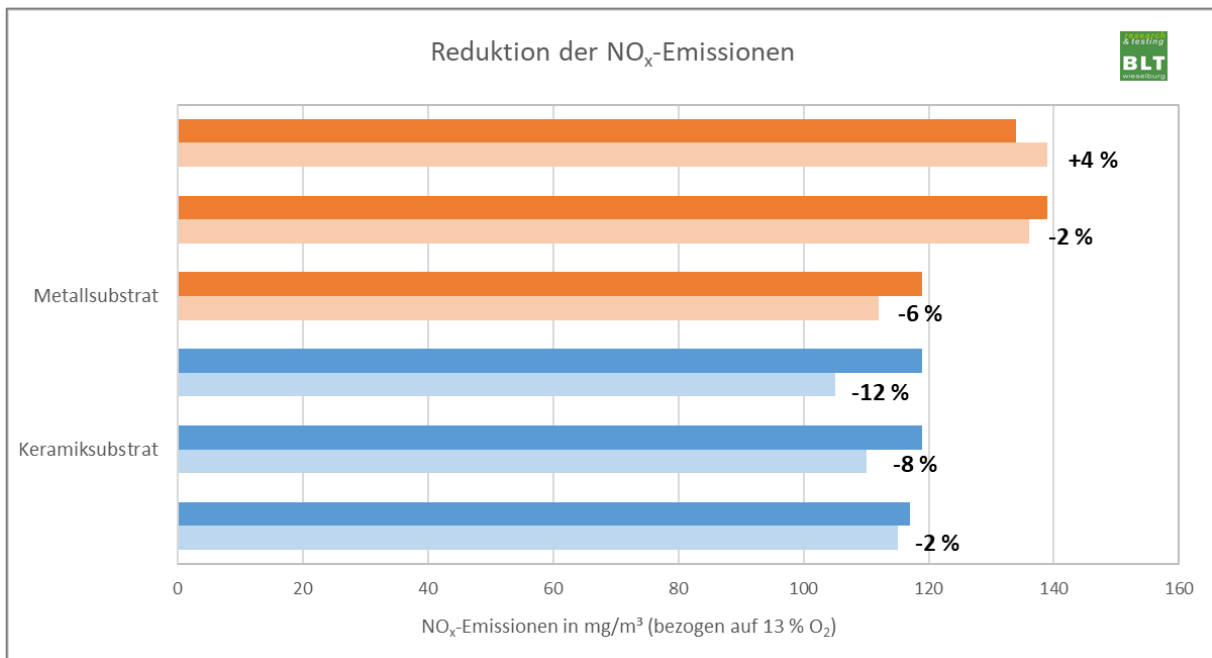


Abbildung 15: NO_x-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatorarten mit Metall- und Keramiksubstrate in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.

Neben den gasförmigen Emissionen wurde im Zuge der Verbrennungsversuche auch untersucht, ob mit Hilfe der Katalysatoren die Partikelemissionen reduziert werden können. Wie aus der Literatur bekannt, dienen Katalysatoren vorwiegend dazu, die gasförmigen Abgasbestandteile zu reduzieren. Ihre Wirkung auf die Staubemissionen ist begrenzt. Katalysatoren beschleunigen die Oxidation kohlenstoffhaltiger gasförmiger Stoffe wie CO und Kohlenwasserstoffe. Da rußartige Staubpartikel zum Teil aus gasförmigen organischen Vorläuferstoffen gebildet werden, wurde untersucht, ob die eingesetzten Katalysatorsubstrate auch den Staubgehalt durch Abbau der Vorläufer reduzieren können. Hinsichtlich der Gesamtstaubemissionen konnten allerdings bei beiden Katalysatorsubstrate keine signifikante Minderung erzielt werden.

In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Staubmessungen im Zuge der Verbrennungsversuche mittels Box Plots zusammengefasst. Sie sollen die Variabilität der Messergebnisse visualisieren und zeigen den Medianwert, die oberen und unteren Quartile, Minimum- und Maximumwerte sowie die Ausreißer der Ergebnisse. Betrachtet man die Ergebnisse der Staubmessungen so lässt sich feststellen, dass neben Reduktionen auch Erhöhungen der Messwerte nach dem Katalysator ermittelt wurden. Bei zeitgleicher Probenahme vor und nach dem Katalysator können Unterschiede auf Grund wechselnder Betriebszustände ausgeschlossen werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die Staubemissionen bzw. die Messstellen auf Grund der geänderten Strömungsverhältnisse, die mit dem Einbau der Katalysator einhergehen, maßgeblich beeinflusst werden. Im Zuge der Versuche wurden unterschiedliche Einbausituationen angewendet wodurch es aus messtechnischer Sicht sehr schwierig ist den zu beprobenden Kernstrom, zu erfassen. Daher kann ein systematischer Fehler der Messungen nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus zeigten Analysen der Katalysatoren nach der Verwendung in den Abbrandversuchen, dass Ablagerungen ungleichmäßig von den Substraten abgetragen wurden und somit die Staubfilter der nachgeordneten Messstelle beeinflussen können. Bilder der Katalysatoren mit den ungleichmäßigen Ablagerungen sind in Abbildung 17 dargestellt.

Diese Ablagerungen sind bereits bei einer geringen Anzahl an Versuchen festgestellt worden, was bei einem Einsatz in der Praxis hinsichtlich den Wartungsintervallen und dem damit verbundenen Aufwand berücksichtigt werden muss. Zudem zeigen auch Erfahrungen aus anderen Projekten und Erkenntnisse aus der Literatur, dass diese Ablagerungen negative Einflüsse auf die Wirkung der Katalysator haben. Darüber hinaus haben diese Ablagerungen negativen Einfluss auf den Zug und dadurch auch auf die Verbrennungsluftregelung und in weiterer Folge auf die Verbrennungsqualität. Zudem sind damit verbundene sicherheitsrelevante Aspekte wie Rückströmung der Verbrennungsgase und Brandsicherheit zu bedenken.

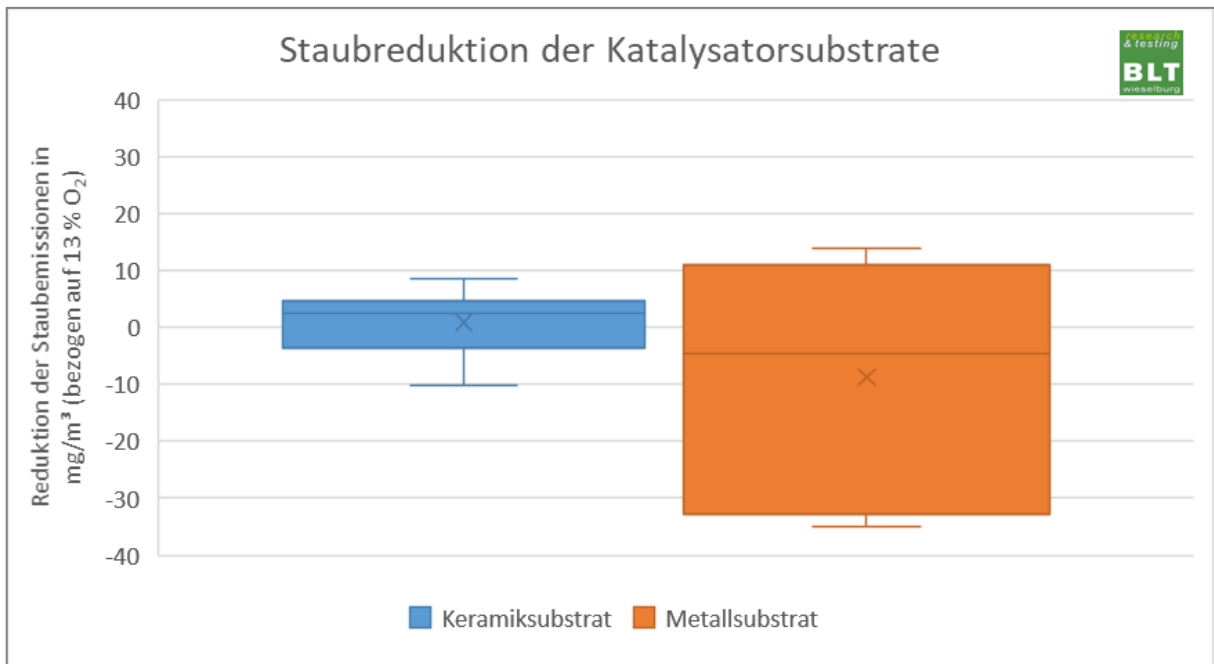


Abbildung 16: Staub-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatorarten mit Metall- und Keramiksubstrate in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.



Abbildung 17: Staubablagerungen an den Katalysatoren und mit flächig begrenzten Abtragungen bei schräger Einbauvariante.

Ergänzend zu der gravimetrischen Messung der Gesamtstaubemissionen wurden auch die Feinstaubemissionen, insbesondere die Anzahl und die Masseverteilung der Staubpartikel mittels Kaskadenimpaktor ELPI von Dekati analysiert.

Als Feinstaub werden alle Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser unter $10\ \mu\text{m}$ bezeichnet. Für diesen Feinstaub wird in der Literatur folgende Unterteilung vorgenommen:

- Grober Schwebstaub: Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $\geq 10 \mu\text{m}$ können beim Menschen in die Nasenhöhlen und in den Rachenraum eindringen. Diese Partikel werden aber in der Regel zeitnah abgehustet.
- Thorakaler Schwebstaub: Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser unter $10 \mu\text{m}$, aber mindestens mit einem Durchmesser von $2,5 \mu\text{m}$ (PM10 ohne PM2,5) können beim Menschen in die oberen Atemwege, die Luftröhre und die Bronchien gelangen und sich dort festsetzen. Sie können vor allem bei Kindern, älteren und vorgeschädigten Menschen zu akuten Gesundheitsbeeinträchtigungen führen.
- Alveolengängiger Schwebstaub: Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser unter $2,5 \mu\text{m}$, jedoch mindestens mit einem Durchmesser von $0,1 \mu\text{m}$ (PM2,5 ohne PM0,1) können bis in die Bronchiolen und die Alveolen (Lungenbläschen) eindringen und sich dort am Lungengewebe festsetzen. Dort werden sie in der Regel eingekapselt oder können eine Autoimmunreaktion auslösen. Sie können zu chronischen Lungen- und Herz-Kreislaufkrankungen führen.
- Ultrafeine Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als $0,1 \mu\text{m}$ (PM0,1). Diese können beim Menschen die Lungen-Blut-Schranke überwinden, also in den Blutkreislauf gelangen und werden dann im ganzen Körper verteilt. Durch die potenziell an ihnen angelagerten Schadstoffe können sie vielfältige Krankheiten auslösen (u. a. chronische Herz- und Gehirnerkrankungen).

Die Messungen der Feinstaubverteilung beschränken sich auf die Versuchsreihen mit dem Metallsubstrat-Katalysator. In Abbildung 18 ist der Verlauf der Anzahlverteilung der Feinstaubpartikel über den Verlauf von 2 unterschiedlichen Verbrennungsversuchen (3 Abbrandperioden), mit und ohne Metallkatalysator, dargestellt. Die Analyse deckt sich mit den Ergebnissen der gravimetrischen Gesamtstaubemissionen, wo ebenso wie hier keine eindeutige Staubreduktion durch den Einsatz des Katalysators festgestellt werden.

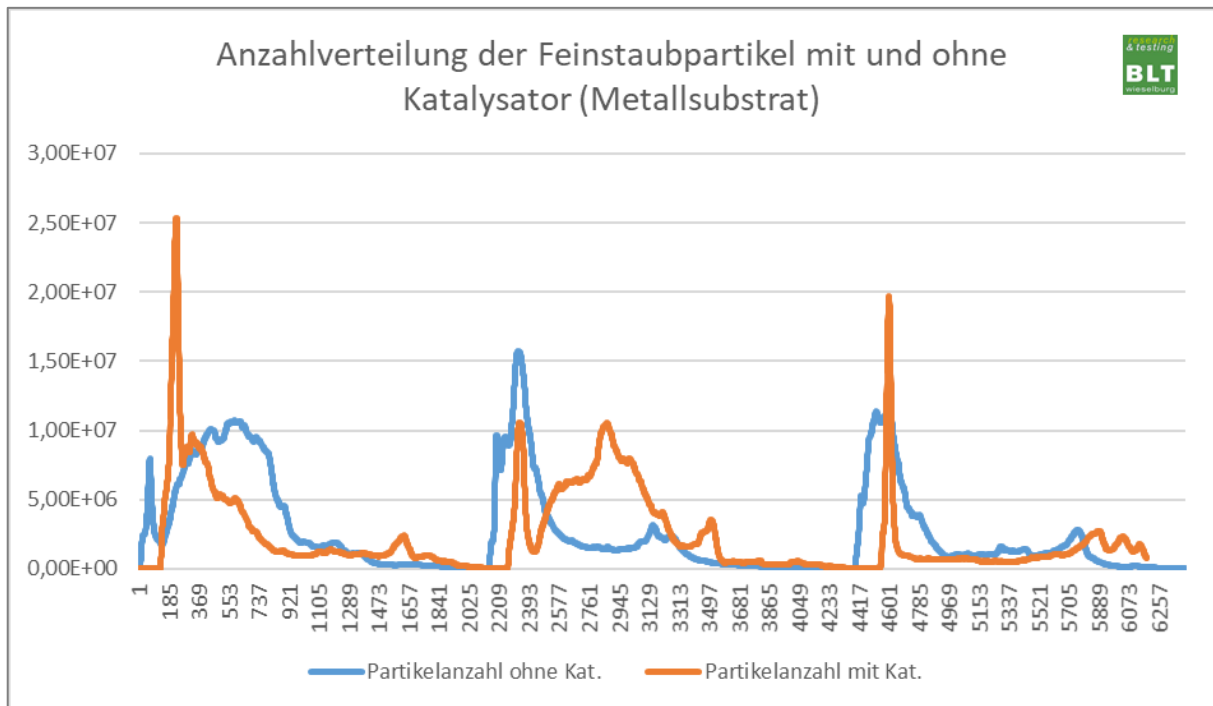


Abbildung 18: Verteilung der Partikelanzahl der Feinstaubemissionen bei einem Verbrennungsversuch mit und ohne Metallsubstrat-Katalysator.

In Abbildung 19 ist die Masseverteilung der Feinstaubemissionen grafisch zusammengefasst. Bei dieser Versuchsdurchführung ist eine Reduktion der Staubpartikel festgestellt worden. Ab der dritten Stufe des Impaktors, d.h. ab einer Partikelgröße von 0,12 μm wurde in der Größenstufe eine Reduktion ermittelt. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass auf Grund der Größe der Partikel die höchsten Partikelmassen in der letzten Stufe, d.h. bei Partikeln $> 8,12 \mu\text{m}$ vorliegen. Wohin gegen die Analyse der Anzahlverteilung die höchste Partikelanzahl in den niedrigen Größenstufen ausweist.

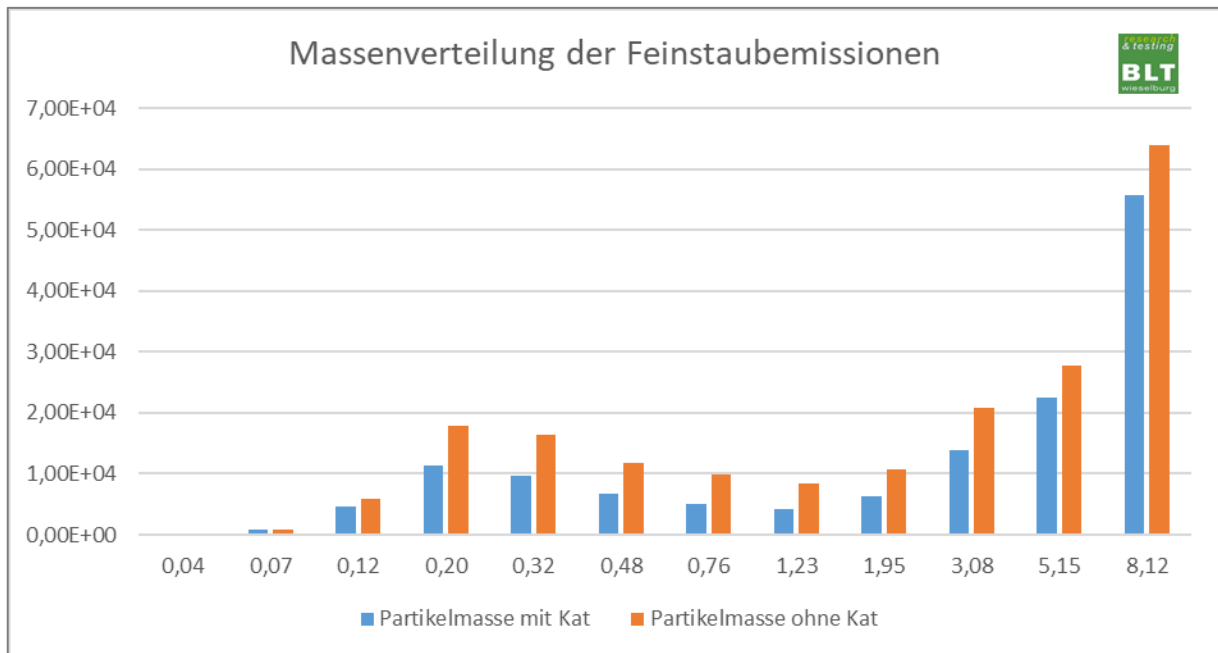


Abbildung 19: Verteilung der Partikelmasse der Feinstaubemissionen bei einem Verbrennungsversuch mit und ohne Metallsubstrat-Katalysator.

Für einen sicheren Betrieb in einem Ofen, muss selbst beim Verschluss bzw. Verstopfen der Filterelemente ein Mindestzug gewährleistet sein, um zum einen die Funktion des Heizens und der Wärmeproduktion zu ermöglichen und zum anderen kritische Betriebszustände zu verhindern. Kritische Betriebszustände sind beispielsweise das Rückströmen von Verbrennungsgasen in den Aufstellort des Ofens. Da viele Verbrennungsprodukte gesundheits-schädliche Eigenschaften aufweisen, sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten durch techni-sche Lösungen zur Gänze zu verhindern. Der Einbau eines Katalysatorelementes in das Ab-gasrohr ist mit einem Druckverlust und einer Veränderung der Strömungsverhältnisse ver-bunden. Das Element muss eine Einrichtung sein, die den Heizgasweg selbst bei maximaler Staubbelastung nicht vollständig verschließt und eine Öffnung als zusammenhängende Flä-che von mindestens 20 cm² oder 3 % der Querschnittsfläche aufweist. Um einen Mindestzug bei jeder Situation zu gewährleisten, wurden unterschiedliche Bypass-Varianten unter-sucht.

So wurden unterschiedliche Prototypen entwickelt, beispielsweise mit ovaler Form der Fil-tersubstrate, um einen Ringspalt zu verhindern und die Mindestgröße der offenen Quer-schnittsfläche zu gewährleisten. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Bypass-Varianten mit Kanalöffnung um das Katalysatorelement herum entwickelt und ausprobiert. Die Schwierigkeiten in diesem Zusammenhang lagen darin, das Rauchgas gezielt durch das Ka-talysatorelement zu leiten. Mit steigendem Strömungswiderstand durch das Katalysatorel-ement neigten die Abgase dazu, den Weg über den Bypass zu gehen und nicht durch das

Katalysatorelement zu strömen, wo die katalytischen Reaktionen die gasförmigen Komponenten reduzieren sollten. Durch gezielte Entwicklungen von Leitblechen konnte dem entgegengewirkt werden. Begleitend wurden die unterschiedlichen Entwicklungstufen hinsichtlich deren Strömungsverhalten und dem Druckverlust analysiert. Der Versuchsaufbau am Prüfstand ist in Abbildung 20 dargestellt.

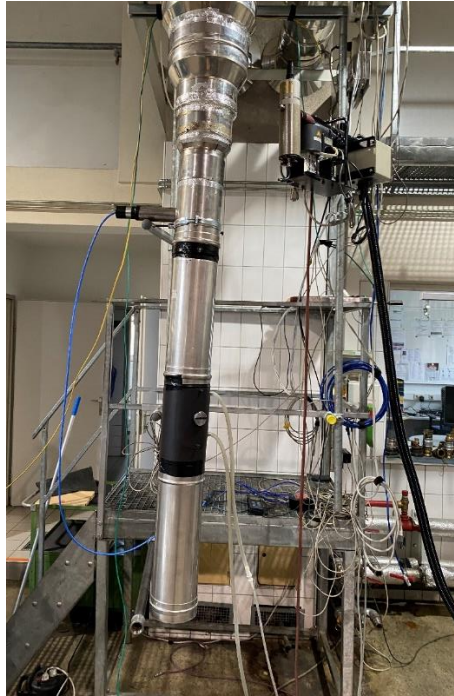


Abbildung 20: Messaufbau zur Ermittlung des Strömungsverhaltens und der Druckdifferenz.

4.4 Zusammenfassung Katalysatorversuche

Für den Einsatz bei der Biomassefeuerung ist ein Katalysator erwünscht, welcher eine große Bandbreite an Kohlenstoffverbindungen oxidiert. Hierbei ist darauf zu achten, dass die verwendeten Trägermaterialien ausreichend robust, aber auch genügend offenporig sind, um sowohl Stabilität als auch einen geringen Druckverlust zu gewährleisten.

Beide eingesetzten Katalysatortypen, Keramiksubstrat und Metallsubstrat, zeigten hervorragende Ergebnisse beim Reduktionsvermögen von CO-Emissionen. Mit Reduktionsraten von durchschnittlich 49 % und 53 % zeigen beide Varianten, dass sie insbesondere in ungünstigen Verbrennungsphasen wie Teillast, oder nach dem erneuten Auflegen des Brennstoffes die CO-Emissionen sehr gut reduzieren können.

Auch hinsichtlich den OGC-Emissionen zeigten beide Katalysatorsubstrate ähnliche Ergebnisse. Diese sind zwar im Vergleich zu den CO-Emissionen nicht mehr so ausgeprägt, jedoch wurden auch hier Reduktionsraten je nach Einbauvariante zwischen 15 % und 45 % ermittelt.

Hinsichtlich der NO_x -Emissionen konnte allerdings weder mit dem Keramik- noch beim Metallsubstrat eine signifikante Minderung durch den Katalysator erzielt werden. Selbiges Bild zeigten die Katalysatoren bei der Reduktion der Gesamtstaubemissionen. Sowohl bei der gravimetrischen Bestimmung der Gesamtstaubemissionen als auch bei der Analyse der Feinstaubverteilung zeigten die eingesetzten Katalysatoren keine nennenswerten Abscheideleistungen.

Katalysatoren können sich mit der Zeit zusetzen und dadurch in ihrer Filterwirkung nachlassen. Um eine dauerhafte Funktionsweise sowie eine sichere Betriebsweise zu gewährleisten, bedürfen diese Produkte einer regelmäßigen Wartung.

Da bei der Verbrennung sowohl gasförmige als auch partikelförmige Emissionen auftreten, ist eine weiterführende zentrale Fragestellung der Abgasreinigung bei Biomassefeuerungen, in welcher Weise eine Kombination aus Katalyse und Feinstaubabscheidung realisiert werden kann. Ob eine Partikelabscheidung vor der Katalyse, danach oder die Möglichkeit der Durchführung von beiden Vorgängen in einem Verfahrensschritt zu verwirklichen sind wären in diesem Zusammenhang weiterführende Fragestellungen.

Darüber hinaus kommt es aufgrund verschiedener Prozesse zu einer Minderung der katalytischen Wirkung. Daher müssen Katalysatoren nach einer bestimmten Anzahl von Betriebsstunden oder -jahren ausgetauscht werden. Um dem Anwender in der Praxis diesbezüglich möglichst verlässliche Angaben geben zu können wären weiterführende Versuche zum Langzeitverhalten der Katalysatorprototypen notwendig. Die direkte Kombination eines Katalysators mit einer Partikelabscheidung wie beispielsweise eine katalytisch beschichtete Abscheideelektrode in einem elektrostatischen Abscheider oder ein metallischer Katalysator, welcher zur Abstoßung oder Anlagerung von Partikeln eine entsprechende Ladung besitzt und ein geeignetes mechanisches Abreinigungssystem aufweist wäre denkbar und wird auch in anderen Forschungsprojekten bearbeitet.

5 Untersuchung zur Wirkung von Reduktionsmaßnahmen von Emissionen bei Heizkesseln (Kleinfeuerungen)

Die Entwicklung von Heizkesseln zur Verbrennung von Biomasse ist geprägt vom Ziel der Reduktion der Emissionen und der Steigerung des Wirkungsgrades. In den letzten Jahren hat sich der Fokus speziell auf Reduktionsmöglichkeiten in den Bereichen der NO_x-Emissionen und der Staubemissionen gelegt. In den folgenden Abschnitten wurde versucht anhand von Prüfungsergebnissen von Heizkesseln am Prüfstand der BLT Wieselburg, eine Übersicht zu schaffen wie sich die Entwicklung seit dem Jahr 2006, bezogen auf verschiedene Brennstoffkategorien, Leistungszustände, Nenn-Wärmeleistungsklassen einerseits und andererseits die Entwicklung nur mit Primärmaßnahmen und mit zusätzlichen Sekundärmaßnahmen vollzogen hat. Die Rückschau auf die Ergebnisse bis zum Jahr 2006 ergibt sich vor allem daraus, da zuvor die Messungen der Staubemissionen und NO_x-Emissionen bei kleinster Leistung noch nicht durchgängig gefordert bzw. gewünscht wurden und somit die Daten nicht zur Verfügung stehen.

Seit den Anfängen der Entwicklung spezieller Heizkessel zur Verbrennung von Biomasse (Ende 1970er / Beginn 1980er Jahre) wurde versucht die Verbrennung stetig durch Optimierung von Primärmaßnahmen zu verbessern. Biomasse, im speziellen Holz, wurde vor der Entwicklung von Spezial-Biomasse Heizkesseln in sogenannten „Allesbrenner-Heizkesseln“ verbrannt. Diese Technologie nahm in keiner Weise Rücksicht auf die Verbrennungseigenschaften der unterschiedlichen Biomassen. Daraus resultierten geringe Wirkungsgrade, welche sich im Bereich von 50 % bewegten und Kohlenmonoxidemissionen bis über 50.000 mg/m³.

Erst durch konstruktive Maßnahmen wie die gezielte Aufteilung in Vergasungs-, Brenn- und Energieaustauschzone, der Einführung eigener Hochtemperaturbrennkammern sowie verbesserte Verbrennungsluftführung konnte aufgezeigt werden, dass auch Biomasse mit geringen Emissionen und hohen Wirkungsgraden verbrannt werden kann. In weiteren Schritten verbesserte sich die Regelungsmöglichkeit, zusätzliche Sensoren wurden zur

Verbrennungsüberwachung integriert (Lambdasonde, Temperatur-, Druckmessensoren, Durchflusssensoren gas- und wasserseitig, ...). Bei den Brennstoffen erfolgte eine Standardisierung der Anforderungen an die Eigenschaften. Bei den Feuerungen wurde eine weitere Spezialisierung bezogen auf die unterschiedlichen Biomassebrennstoffe vollzogen, um die spezifischen Brennstoffeigenschaften besser zu berücksichtigen. So wurden Heizkessel speziell für Stückholz, Holzhackgut, Holzpellets und sonstige standardisierte (agrarische) Biomasse entwickelt. In der fortschreitenden Entwicklung entstanden Kessel mit Brennwerttechnologie und auch Kleinf Feuerungen mit eigener Stromerzeugung wurden auf den Markt gebracht.

Aufgrund der zusehends verschärften Anforderungen seitens des Gesetzgebers bei Umweltgesetzen und der Anhebung von Anforderungen bei den Förderrichtlinien hinsichtlich Effizienz und Emissionen werden auch bei Kleinf Feuerungen immer häufiger zusätzliche Sekundärmaßnahmen zur Emissionsreduktion erforderlich.

Im folgenden Abschnitt soll nun näher auf die, bei der Entwicklung der Feuerungen getroffenen Maßnahmen, hinsichtlich Staub- und NO_x-Reduktion eingegangen werden.

5.1 Maßnahmen zur Reduktion von partikelförmigen Emissionen bei Heizkesseln

Primäre Maßnahmen

Die Hersteller von Biomassekesseln bemühen sich in erster Linie die Emissionen insbesondere durch Primärmaßnahmen weiter zu senken. Da diese meist günstigere als Sekundärmaßnahmen sind. Damit sollen auch die Kosten für die Feuerungen im wettbewerbsfähigen Bereich gehalten werden. Zu diesen Primärmaßnahmen zählen etwa, die Optimierung der Brennraumgeometrien und Verbrennungsluftführungen bereits bei der Entwicklung bzw. Überarbeitung von Feuerungen mit Unterstützung von CFD gestützter Brennraum-Modellierung. Die Wahl des richtigen und qualitativ hochwertigen Brennstoffs sowie die Optimierung der Feuerungs- und Regelungstechnik an die unterschiedlichen Verbrennungs- und Leistungszustände. Das stellt die Ausgangsbasis dar um Emissionen gering zu halten und hohe Effizienz zu erreichen.

Weiterführende Konzepte zur Reduktion der Partikelfracht sind:

- Das Brennstoffbett ruhig zu halten und eine gleichmäßige Verbrennungsluft-durchströmung des Brennstoffbetts
(diesbezüglich wiesen bereits Messergebnisse von Stückholzfeuerungen hin)
- Den Luftanteil in der Primärverbrennungszone kontrollieren und gering zu halten
- Die Optimierung der Ausbrandphasen über den gesamten Leistungsbereich hinweg
- Integration von Luftstufungskonzepten

Sekundäre Maßnahmen

Dort wo die Reduktion der partikelförmigen Emissionen mittels Primärmaßnahmen aufgrund der gestellten Anforderungen nicht mehr zuverlässig ausreicht, stehen mittlerweile auch für Biomassefeuerungen sehr effektive und zuverlässige Technologien zur Verfügung. Bei den Sekundärmaßnahmen ist ebenfalls in brennstoffseitige und technologische Maßnahmen feuerungsseitig zu unterscheiden.

Sekundärmaßnahmen – brennstoffseitig:

- Erzeugung von Design-Brennstoffen mit optimierten Eigenschaften
- Verbesserung der Brennstoffeigenschaften durch Zugabe von Additiven
(aschebedingte Eigenschaften, ...)

Sekundärmaßnahmen – feuerungsseitig:

- Elektrostatische – Partikelabscheider in den verschiedensten Einbauvarianten
 - Montage am Kaminkopf
 - Montage im Kaminrohr z.B: bei der oberen Reinigungsöffnung
 - Montage im Abgasrohr zwischen Kessel und Kamin
 - Montage als „Rucksack-Lösung“ – „Options-/Nachrüstvariante“
 - Im Heizkessel integrierte Lösungen
- Katalysator
- (Multi-)Zyklonabscheider
- Abscheide Filter (Oberflächen-, Tiefenfilter)
- Abgaswäscher

Die angeführten Varianten der Sekundärmaßnahmen stellen lediglich eine Aufzählung gängiger Methoden zur Partikelreduktion dar. Bei den im Projekt behandelten

„Kleinfeuerungen“ hat sich zum derzeitigen Stand vorwiegend die Partikelabscheidung mittels eines elektrostatischen Systems durchgesetzt. Welches falls erforderlich, in Kombination mit einem Fliehkraftabscheider (Zyklon) zur Vorabscheidung der Grobpartikel, eingesetzt wird.

5.2 Darstellung der Entwicklung von Partikelemissionen anhand von Prüfstandsergebnissen von Prüfungen nach EN 303-5

Im Zuge von Prüfstandsmessungen an Zentralheizungskesseln am Prüfstand der BLT Wieselburg wurden stets auch Emissionen ermittelt. Seit 2006 wurden aufgrund der geänderten Anforderungen, durchgängig Gesamtstaubemissionen und NO_x-Emissionen auch bei Messungen im Teillastbetrieb erfasst. In den folgenden Diagrammen sind Ergebnisse aus Messungen bei Nenn-Wärmeleistung- und bei Kleinster Wärmeleistung enthalten.

Abbildung 21 zeigt, dass auch ohne zusätzliche Staubminderungsmaßnahmen eine kontinuierliche Verbesserung der Staubemissionen durch die Weiterentwicklung der Verbrennungs- und Regelungstechnologie erreicht werden konnte. Die Abbildungen 21 bis 23 zeigen wie sich die Emissionen beim Betrieb mit Holzpellets verhalten haben. In den Jahren, zwischen 2005 und 2010, wurden bereits Kleinfeuerungen mit zusätzlicher Abgasrezirkulation und Brennwertheizkessel auf den Markt gebracht. Mit Einführung der Abgasrezirkulation auch bei den Kleinfeuerungen, kann besser auf kritische Brennstoffeigenschaften wie Aschegehalt und Ascheschmelzpunkt Rücksicht genommen werden und die Staubemissionen auf einem niedrigeren Niveau gehalten werden. Bei den Brennwertheizkesseln (Abbildung 23), es handelte sich dabei ausschließlich um Pelletsheizkessel, zeigte sich von Beginn an ein niedrigeres Niveau an Staubemissionen. Allerdings war über den beobachteten Zeitraum kein weiteres, markantes Absinken der Emissionen ersichtlich.

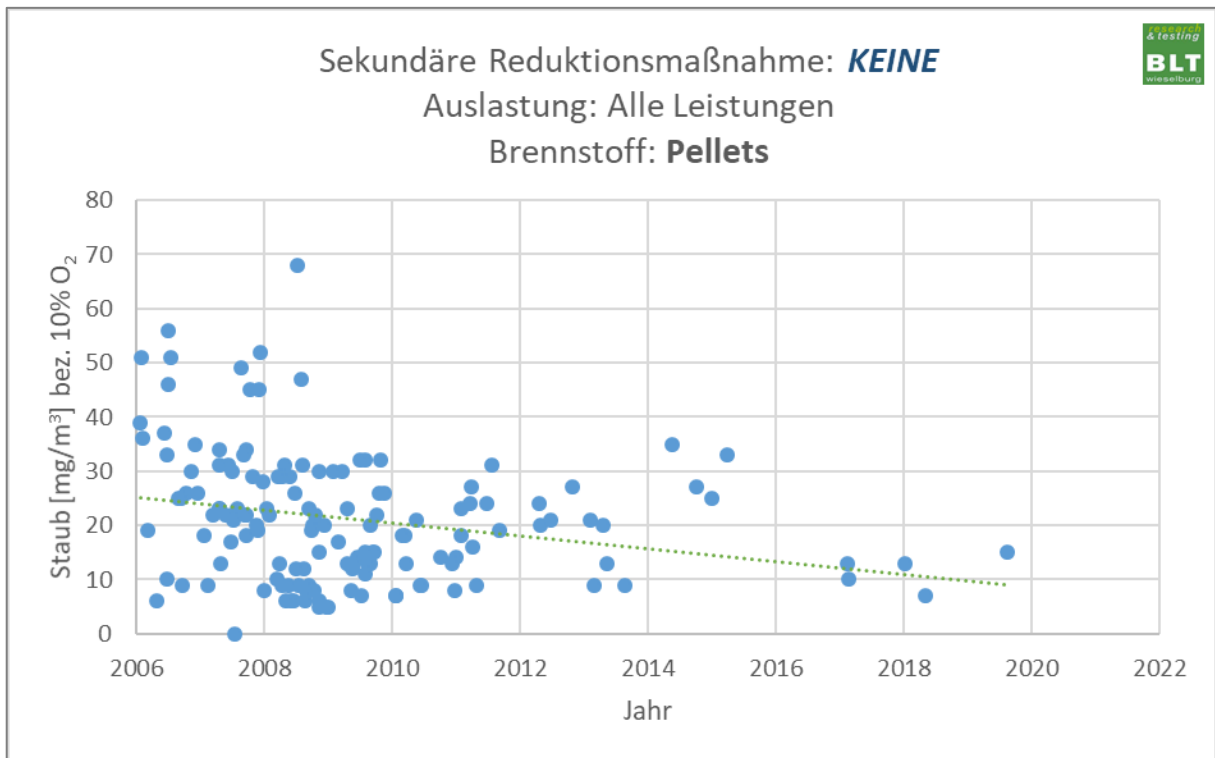


Abbildung 21: Entwicklung der Staubemissionen von automatisch beschickten Biomasseheizkesseln ohne sekundäre Maßnahmen

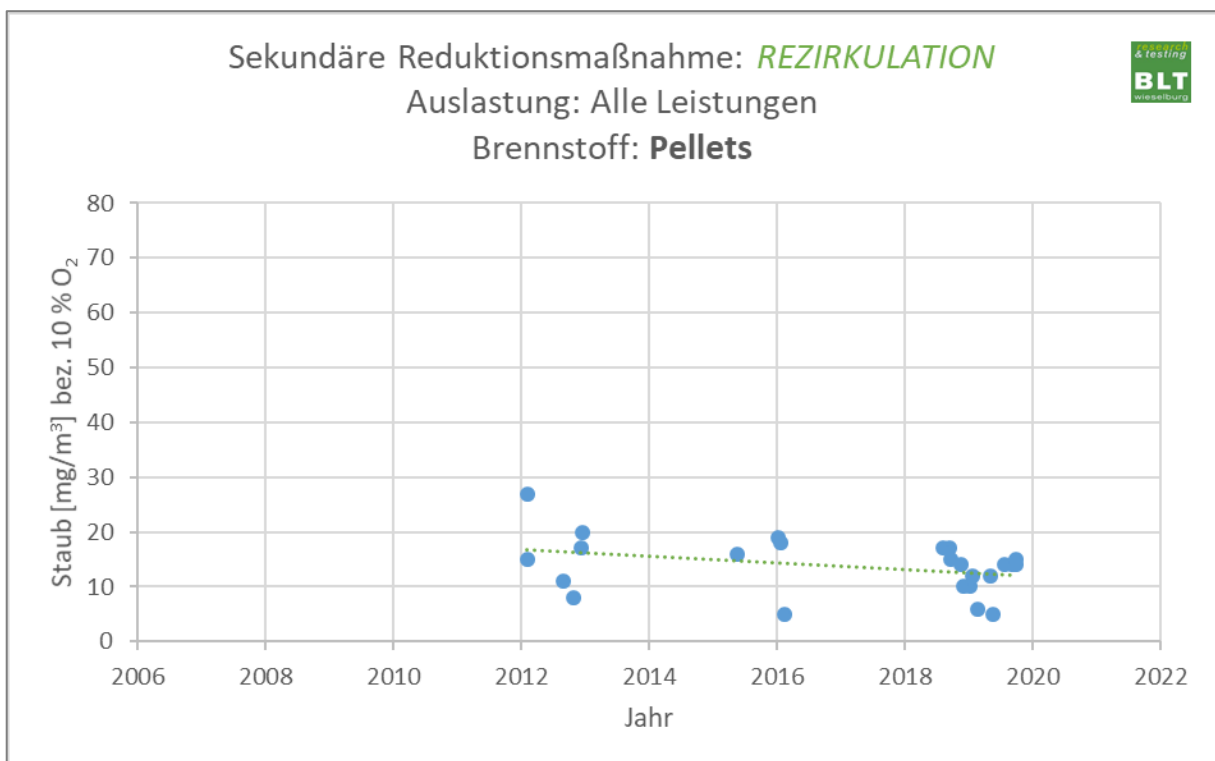


Abbildung 22: Staubemissionen automatisch beschickter Biomasseheizkesseln mit Abgasrezirkulation

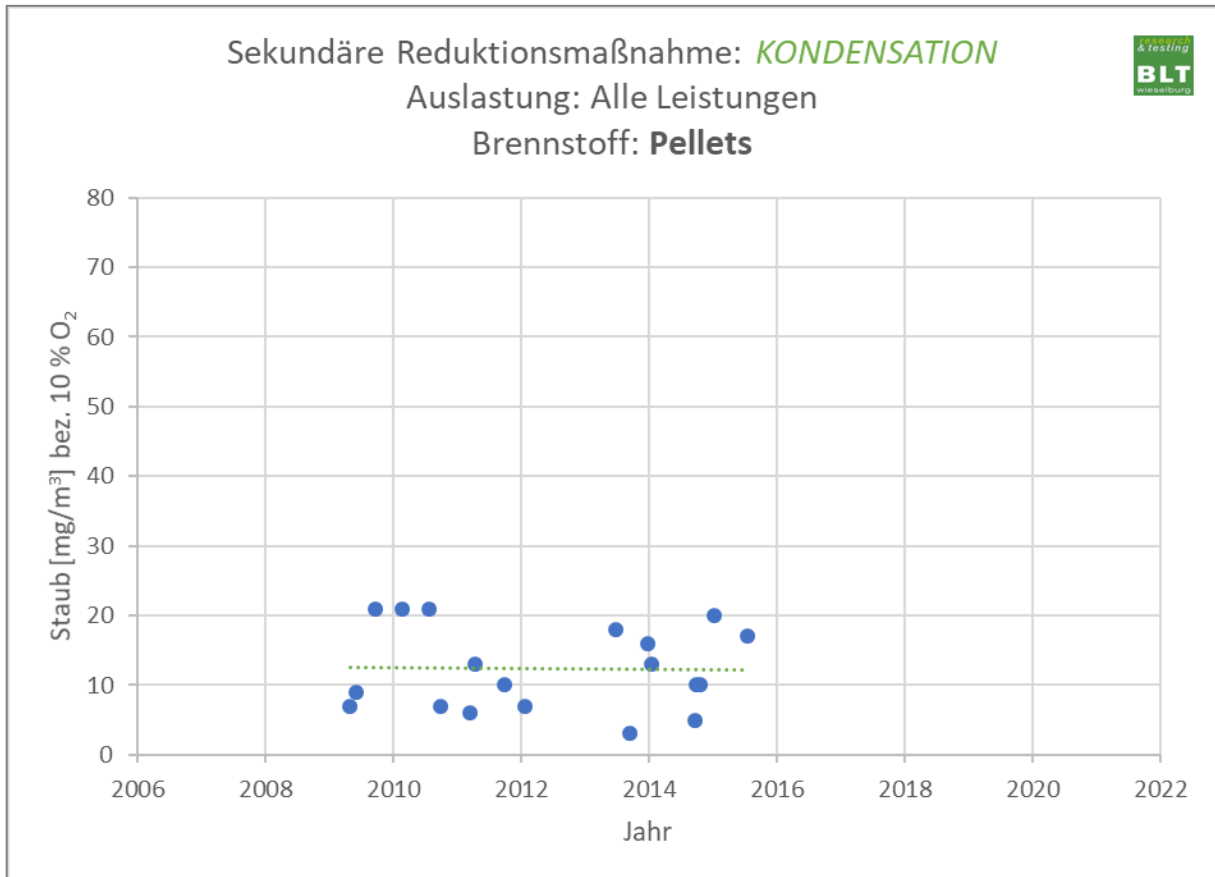


Abbildung 23: Staubemissionen automatisch beschickter Biomasseheizkesseln mit Kondensation

Die Abbildungen 24 bis 26 zeigen die Entwicklung der Emissionen bei den Hackgutheizkesseln mit dem Brennstoff Holzhackgut. Hier zeigen sich ähnliche Verbesserungen wie bei den automatisch betriebenen Heizkesseln mit Holzpellets. Allerdings wurden bei den Hackgutkesseln seit ca. 2016 zusätzlich Lösungen mit elektrostatischen Partikelabscheidern (Abbildung 26) etabliert. Zu Beginn war bei einigen Produkten die Abscheideleistung noch nicht optimal, was sich mit Fortdauer der Entwicklungen massiv geändert hat und Ergebnisse erzielt wurden die kleiner als die Messunsicherheit sind.

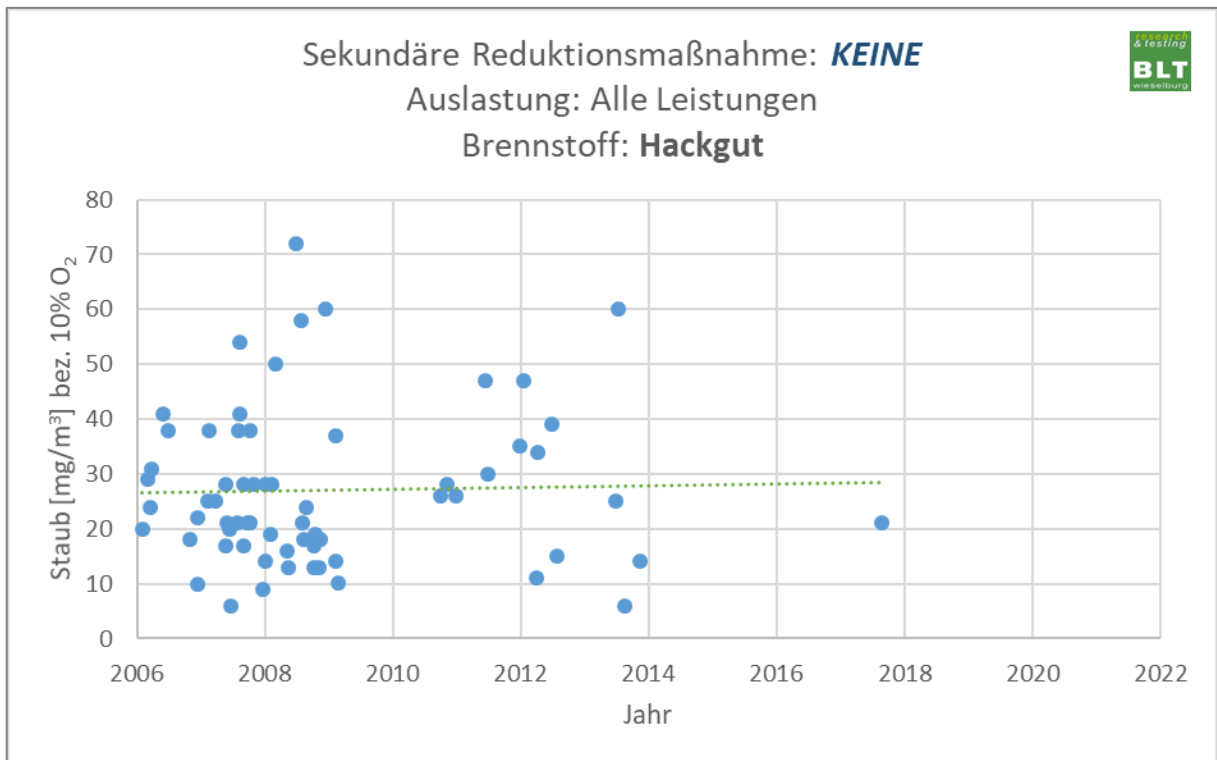


Abbildung 24: Staubemissionen automatisch beschickter Hackguthheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme

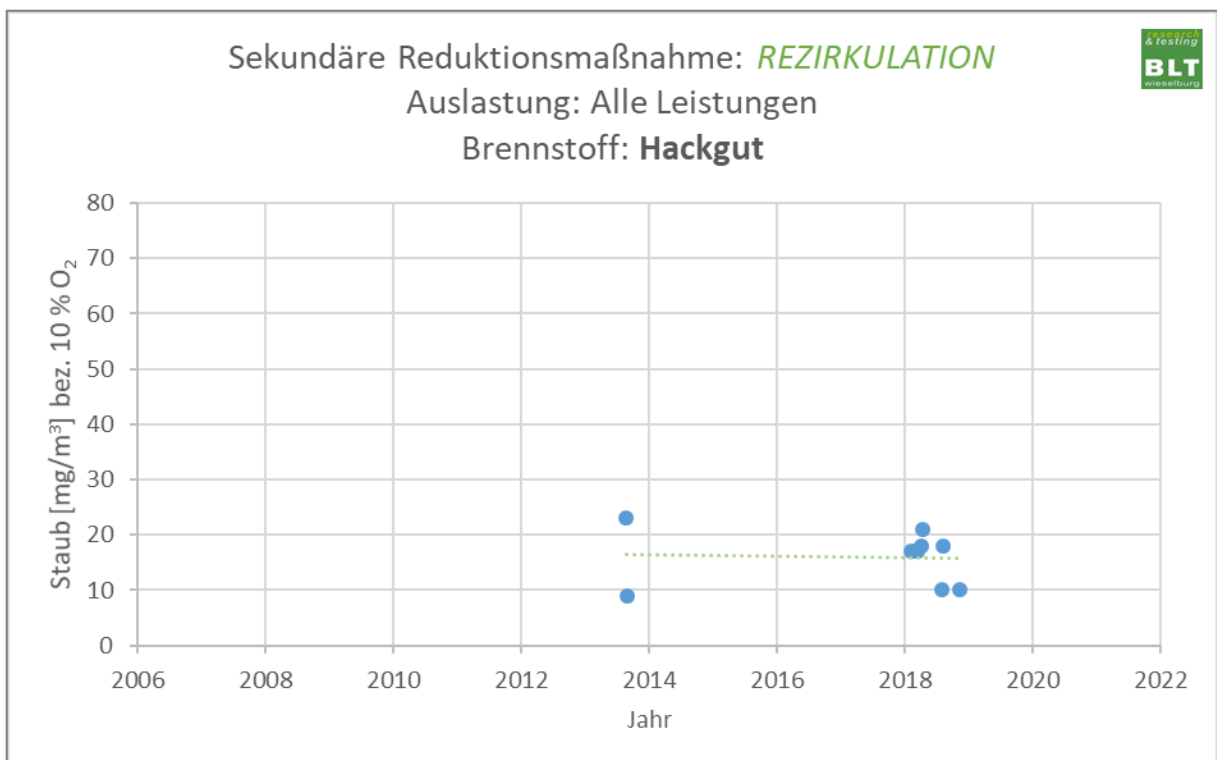


Abbildung 25: Staubemissionen automatisch beschickter Hackguthheizkessel mit Abgasrezirkulation

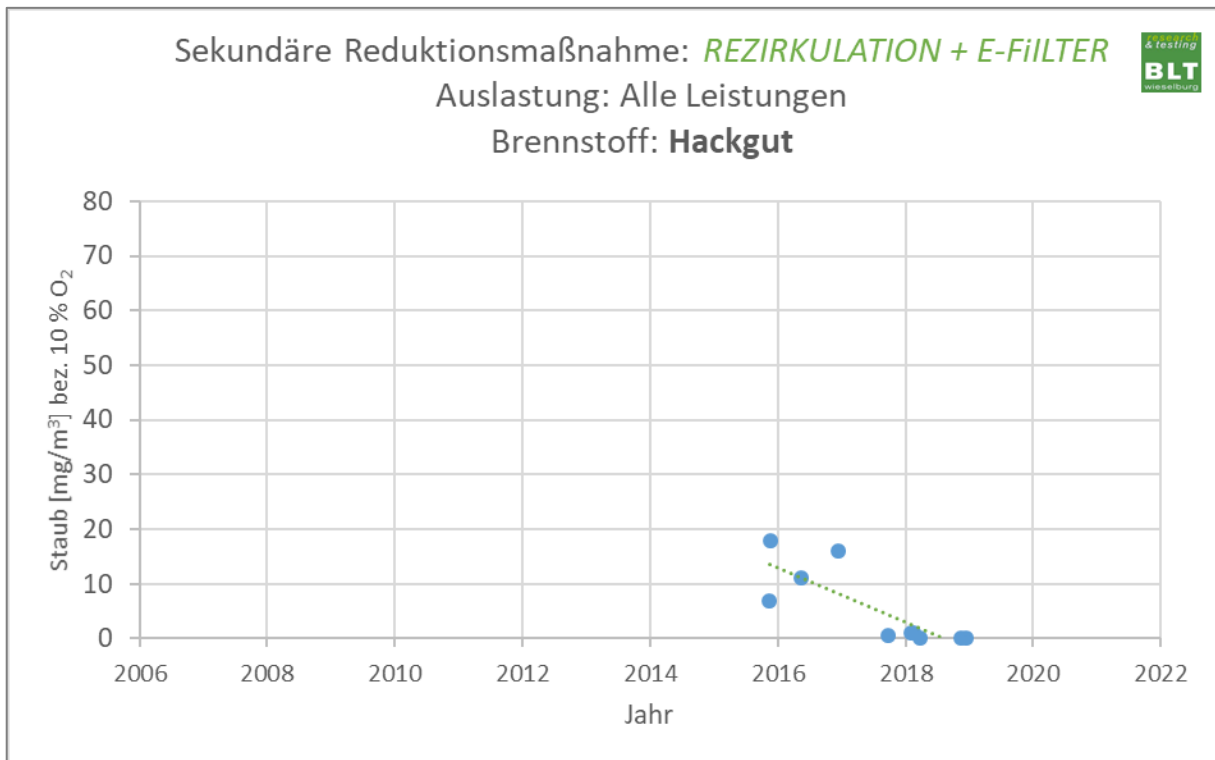


Abbildung 26: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgutheizkessel mit Abgasrezirkulation + E-Filter

In den frühen Jahren nach 2000, wurden aufgrund der Preisentwicklung bei den fossilen Brennstoffen Heizkessel für sonstige Biomassen (agrарische Brennstoffe, ...) nachgefragt. Dies erforderte die Entwicklung neuer Feuerungskonzepte um die gegebenen Grenzwerte einhalten zu können und einen möglichst störungsarmen Betrieb der Feuerungen beim Betrieb mit diesen Brennstoffen, aufgrund ihrer teilweise speziellen Eigenschaften (hoher Aschegehalt, niedrige Ascheschmelztemperaturen, Verschlackungsneigung, hoher Brennstoffstickstoffanteil, korrosive Eigenschaften, ...) zu gewährleisten. In den wenigen Jahren, wo die Nachfrage für diese Anlagen gegeben war und die Entwicklungsarbeiten stattfanden, konnte ohne sekundäre Emissionsreduktionsmaßnahmen keine Verringerung bei den Staubemissionen festgestellt werden. Jedoch zeigten einige Jahre später, Feuerungen die für den Betrieb mit Miscanthus konzipiert wurden und zusätzlich mit Abgasrückführung und / oder elektrostatische Partikelabscheider ausgestattet waren, dass auch diese mit sehr niedrigen Staubemissionen arbeiten können.

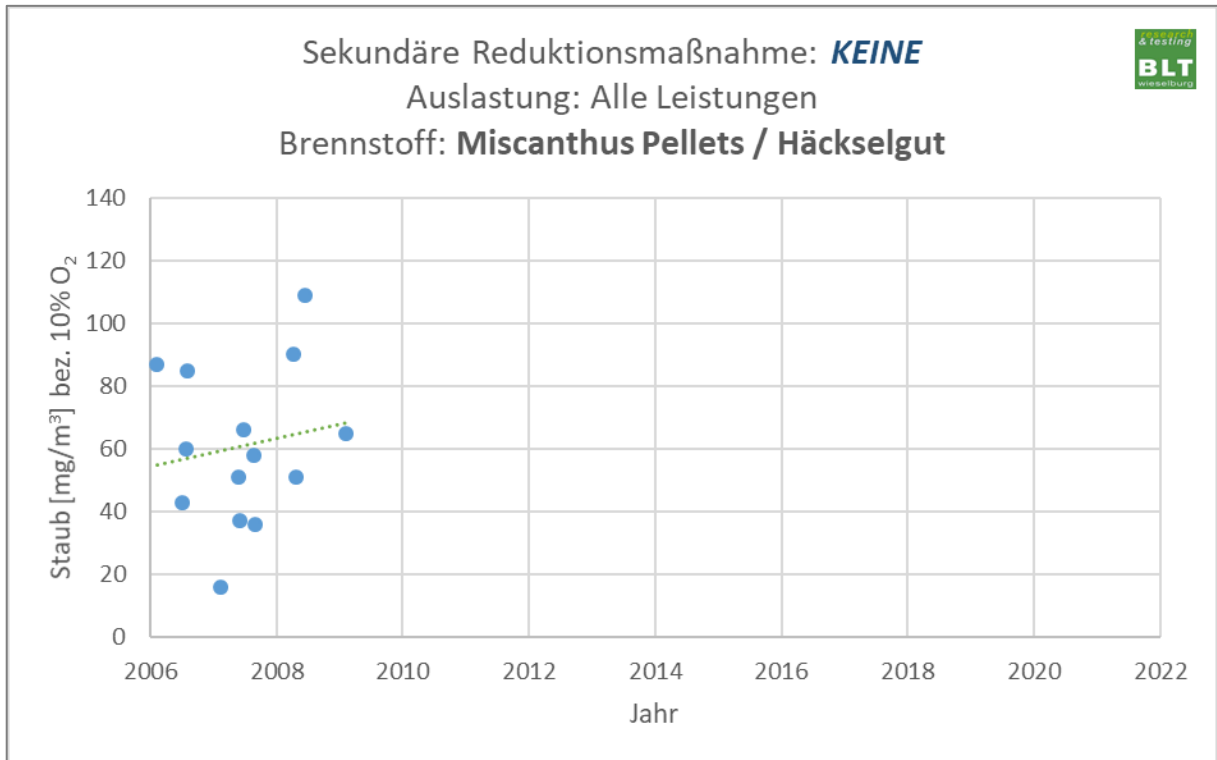


Abbildung 27: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme.

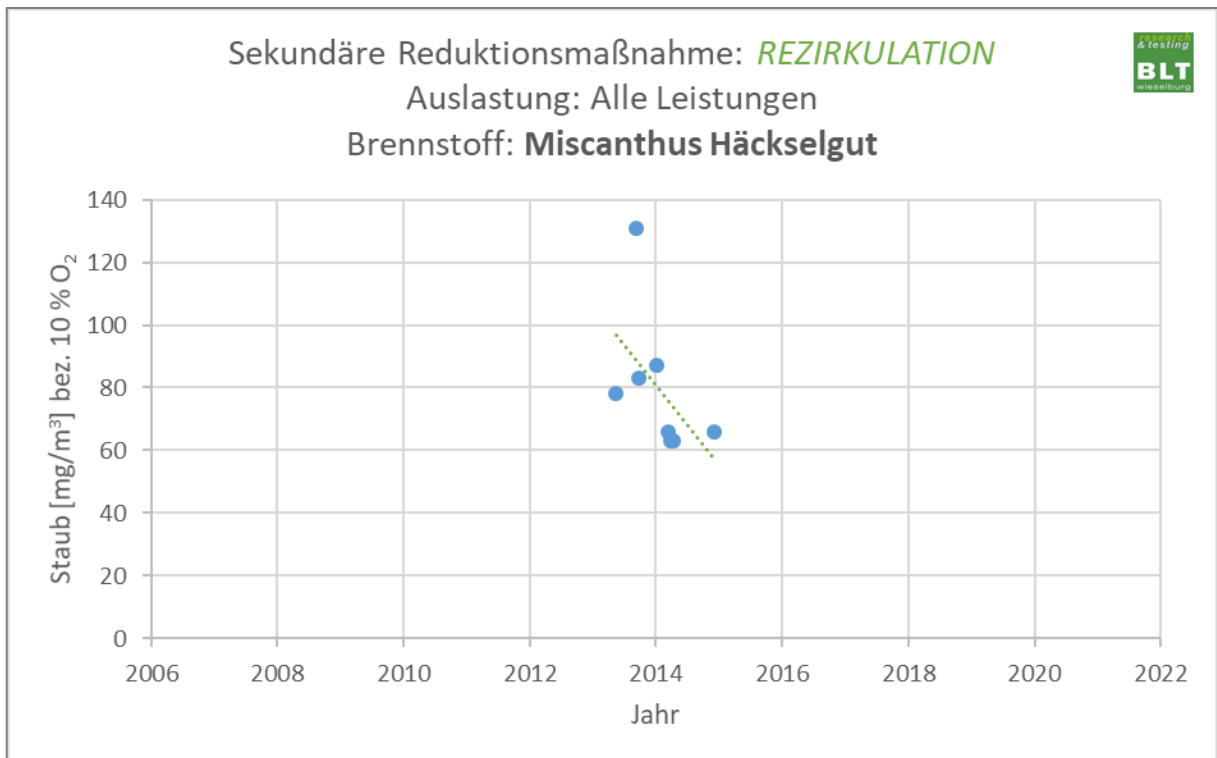


Abbildung 28: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation

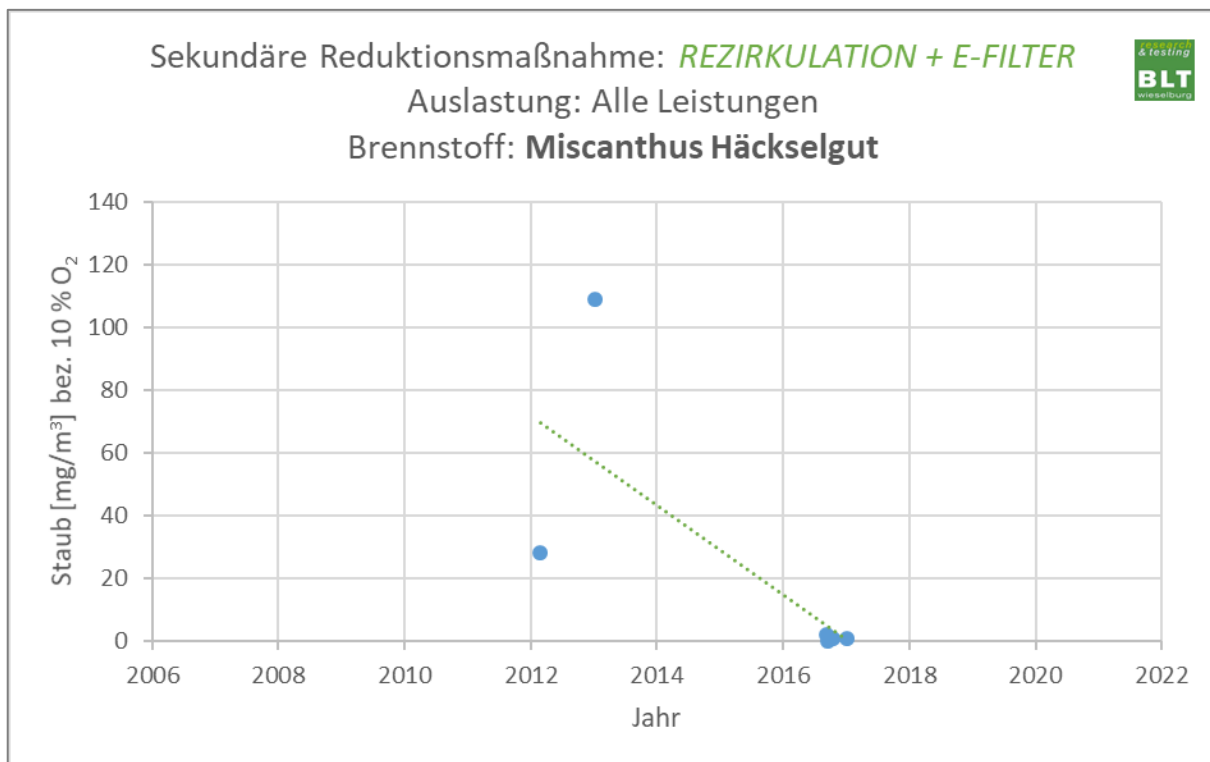


Abbildung 29: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation und E-Filter

Für Stückholzkessel und automatisch beschickte Heizkessel für Energiekorn, stehen aktuell keine Daten, zur Gegenüberstellung von Feuerungen mit und ohne sekundärer Emissionsreduktionsmaßnahmen zur Verfügung. Begründet dadurch, dass im Zeitraum in dem Stückholzkessel und Heizkessel für agrarische Brennstoffe zur Prüfung anstanden, für Kleinf Feuerungen entweder noch keine gängige Technologie zur Emissionsreduktion zur Verfügung stand bzw. zur Einhaltung der Anforderungen zur gegebenen Zeit, die Umsetzung von Primärmaßnahmen ausreichend war.

Darstellung der Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen anhand von Prüfstandsergebnissen

Im Zuge von Prüfstandsmessungen an Zentralheizungskesseln am Prüfstand der BLT Wieselburg wurden stets auch Emissionen ermittelt. Seit 2006 wurden aufgrund der geänderten Anforderungen, durchgängig Gesamtstaubemissionen und NO_x-Emissionen auch bei Messungen im Teillastbetrieb erfasst. In den folgenden Diagrammen sind Ergebnisse aus Messungen bei Nenn-Wärmeleistung- und bei Kleinster Wärmeleistung enthalten.

Die NO_x-Emissionen bei Biomassefeuerungen stammen beim derzeitigen Stand der Technik zum überwiegenden Teil aus dem Brennstoffstickstoff. Die Hauptansatzpunkte zur Reduzierung der NO_x-Emissionen sind bisher der Einsatz von Brennstoffen mit geringen N-Gehalten, Luftführungs-, Luftstufungs- und Regelungskonzepte. Die Umsetzung sekundärer Reduktionsmaßnahmen ist bei den Kleinfeuerungen in der Serienproduktion noch nicht angekommen. Dennoch ist ein genereller Abwärtstrend der NO_x-Emissionen bei den in den Abbildungen 30 bis 38 ausgewiesenen Brennstoffen und Reduktionsmaßnahmen erkennbar.

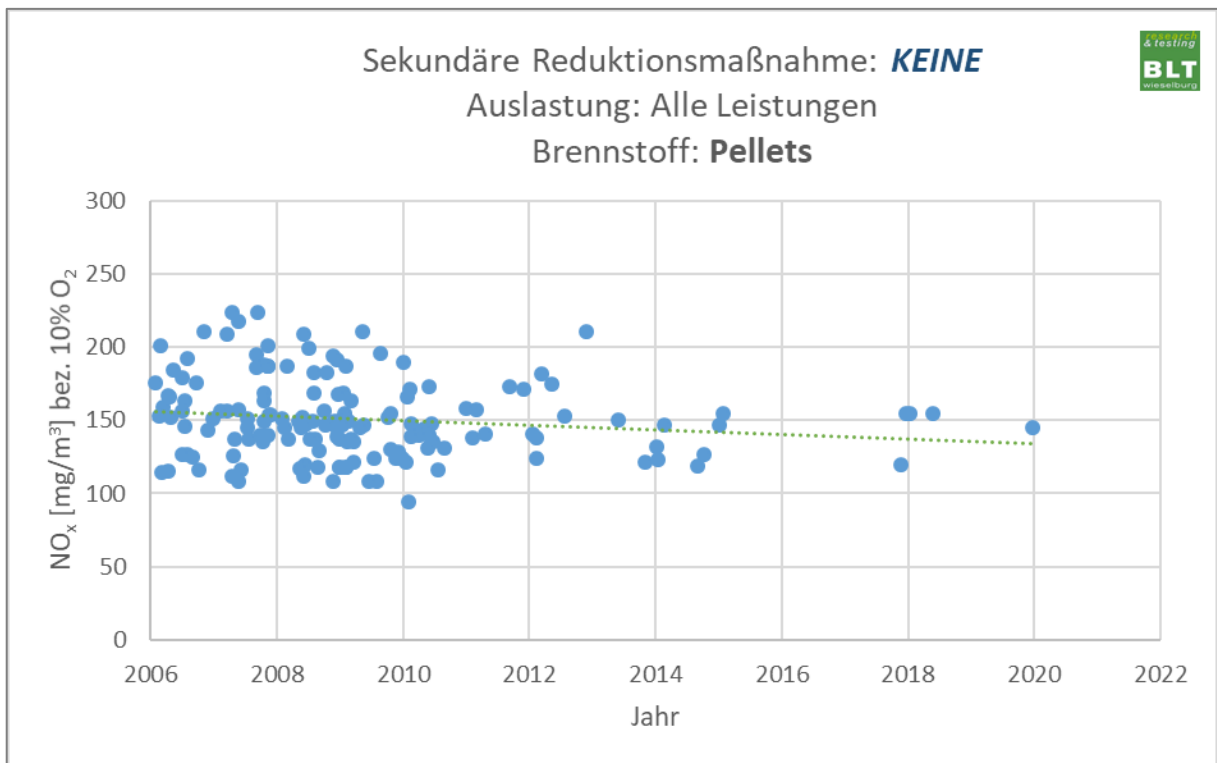


Abbildung 30: Entwicklung der NO_x-Emissionen bei Pellets-Heizkesseln ohne sekundärer Reduktions-Maßnahme

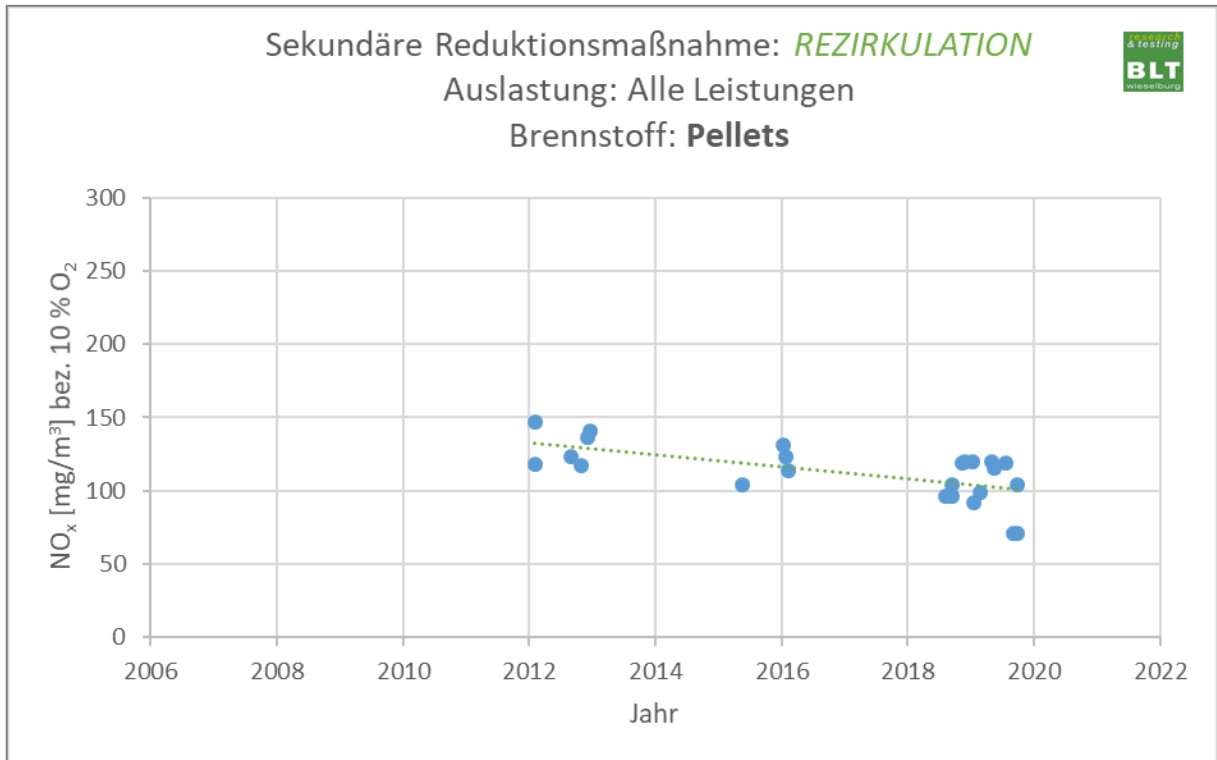


Abbildung 31: Entwicklung der NO_x-Emissionen von Pellets-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation

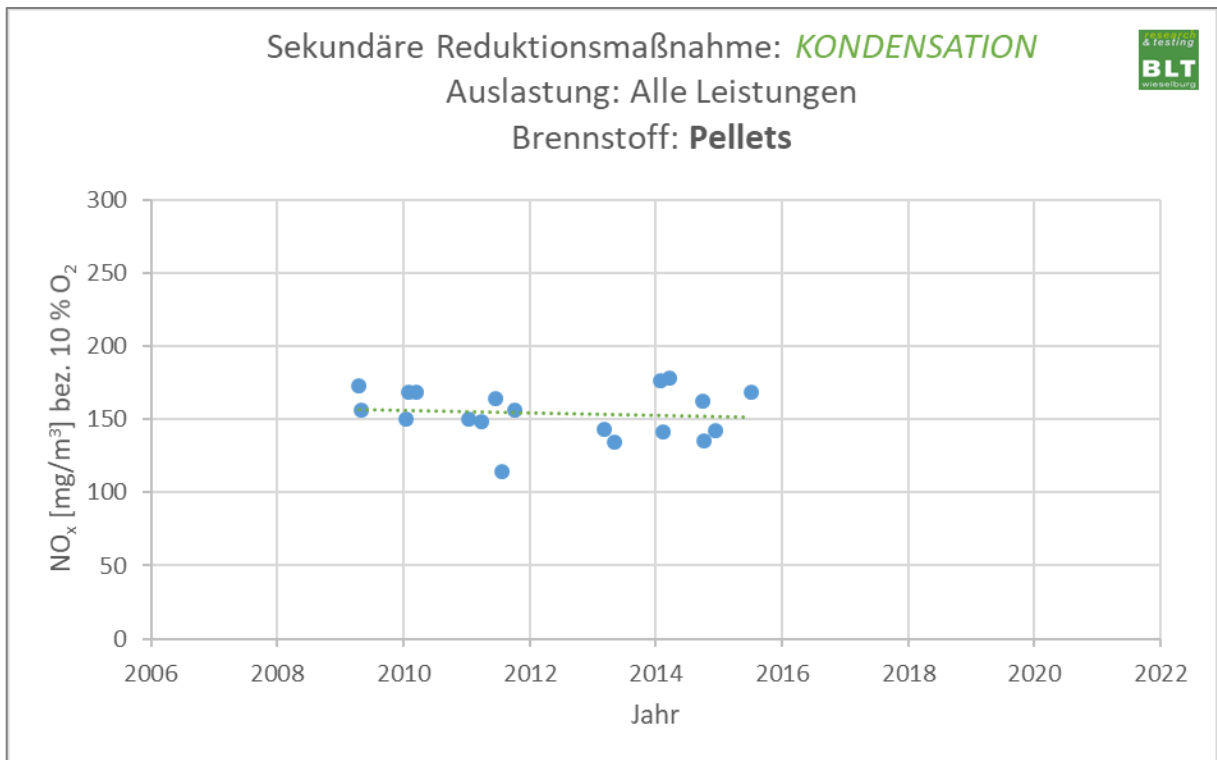


Abbildung 32: Entwicklung der NO_x-Emissionen von Pellets-Heizkesseln mit Kondensation

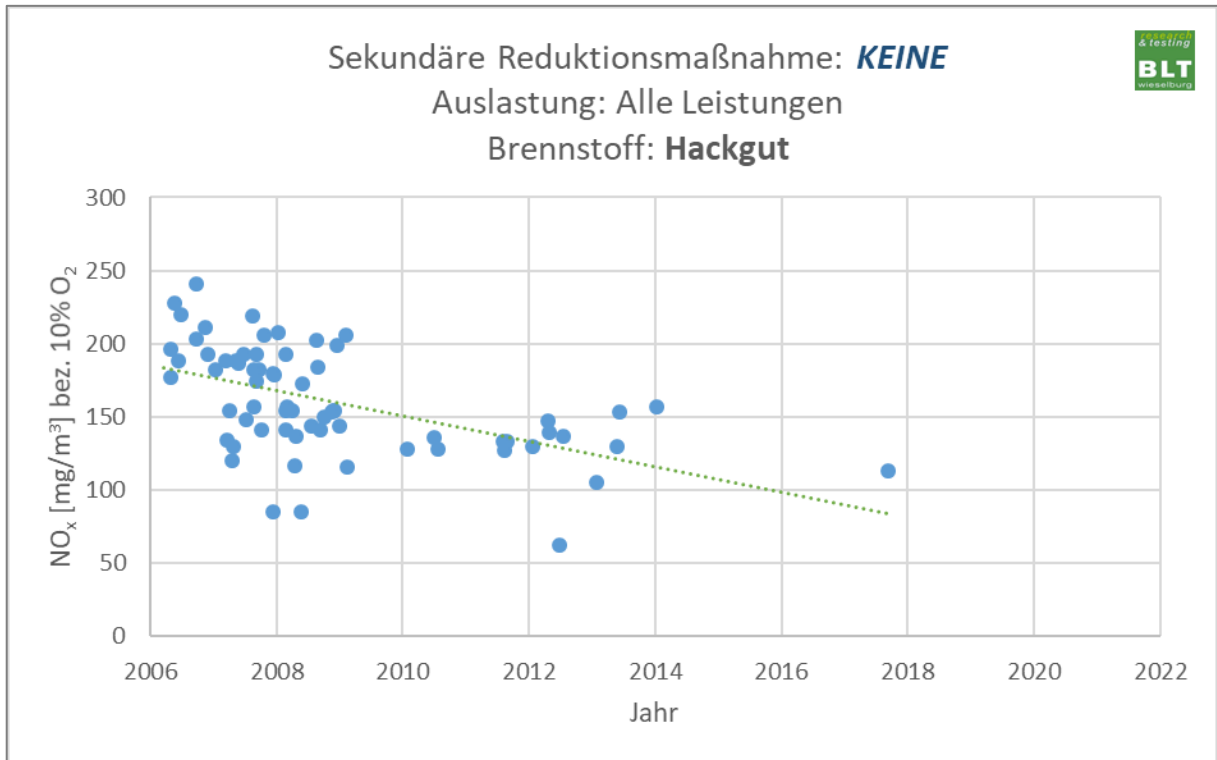


Abbildung 33: Entwicklung der NO_x-Emissionen bei Hackgut-Heizkesseln ohne sekundärer Reduktions-Maßnahme

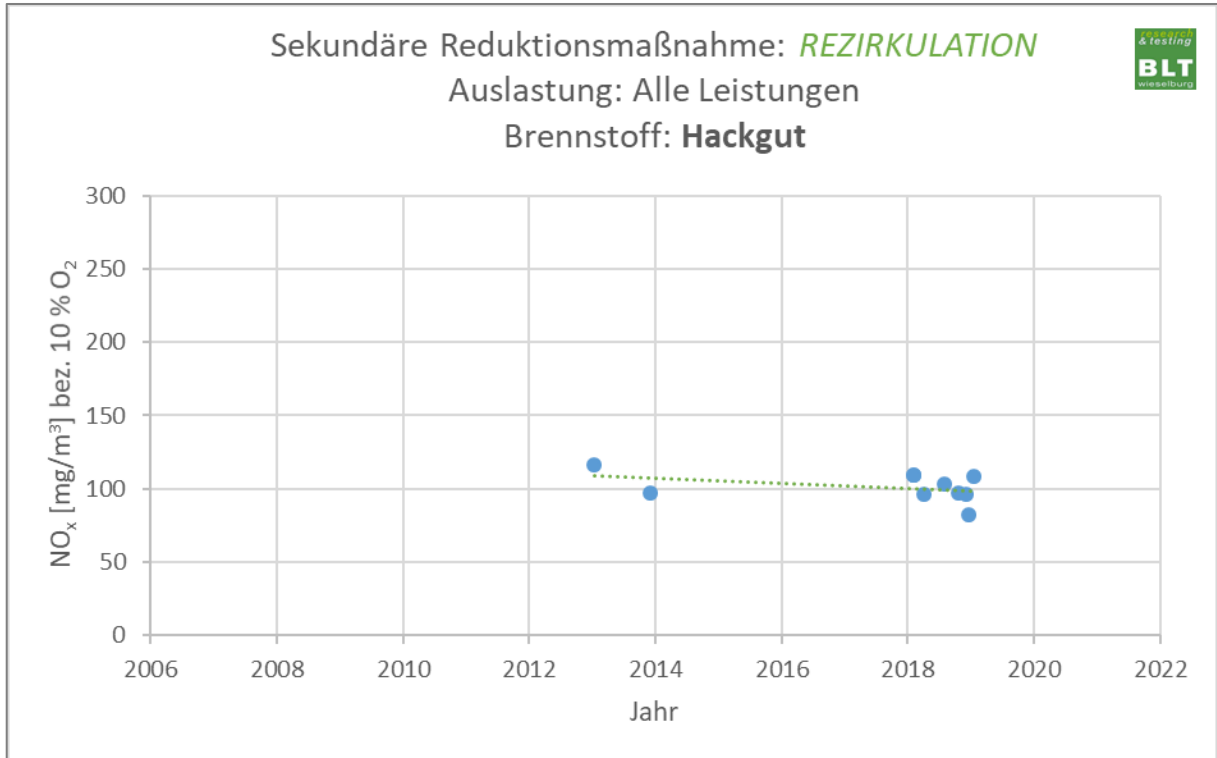


Abbildung 34: Entwicklung der NO_x-Emissionen von Hackgut-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation

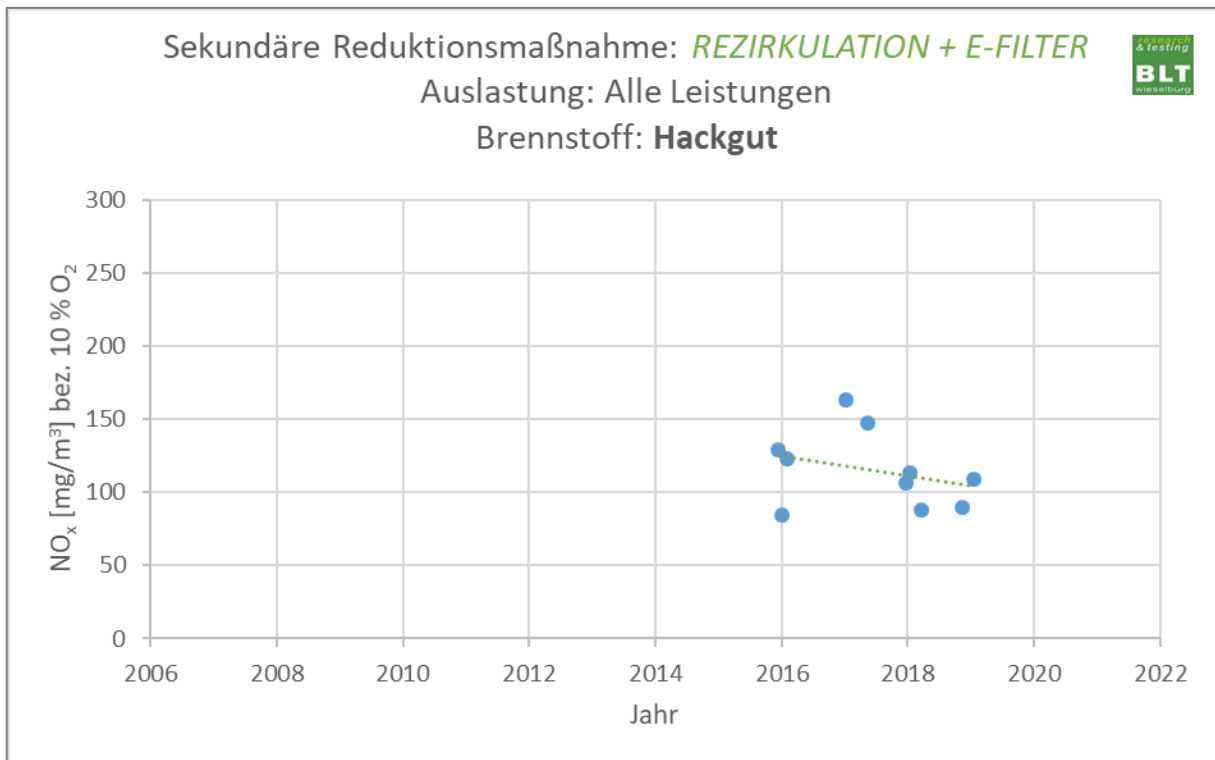


Abbildung 35: Entwicklung der NO_x-Emissionen von Hackgut-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation + E-Filter

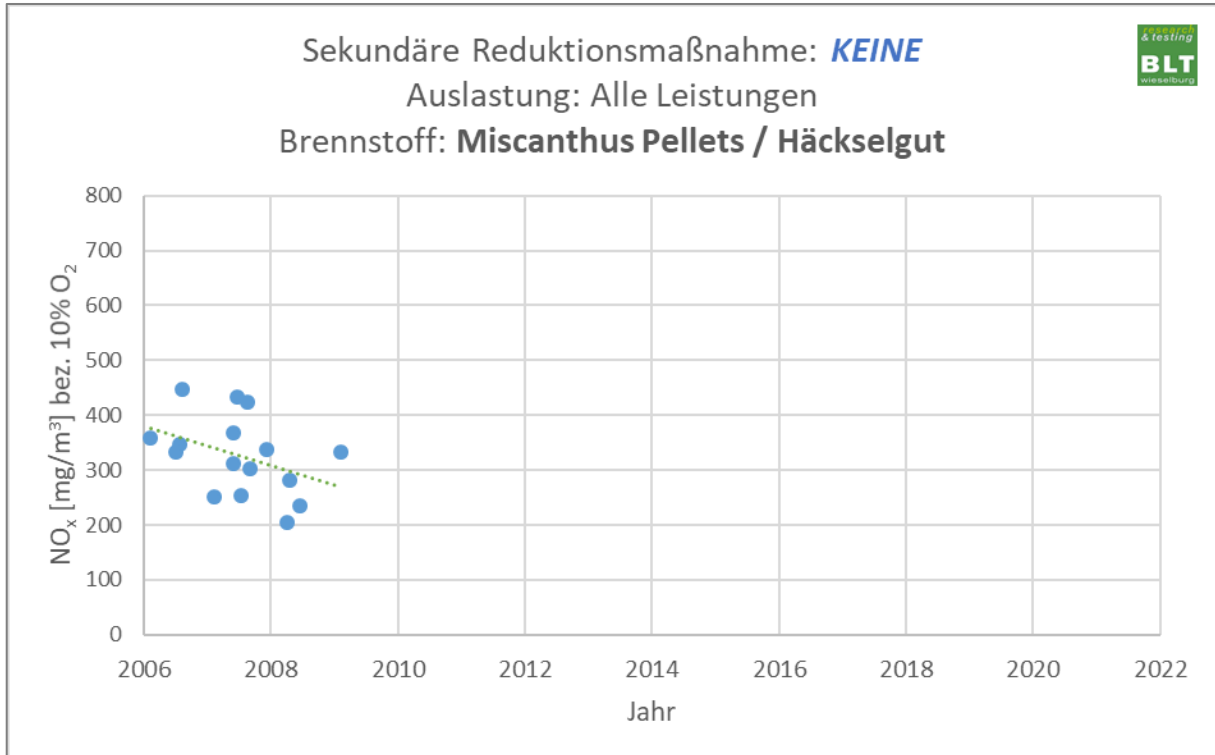


Abbildung 36: Entwicklung der NO_x-Emissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme

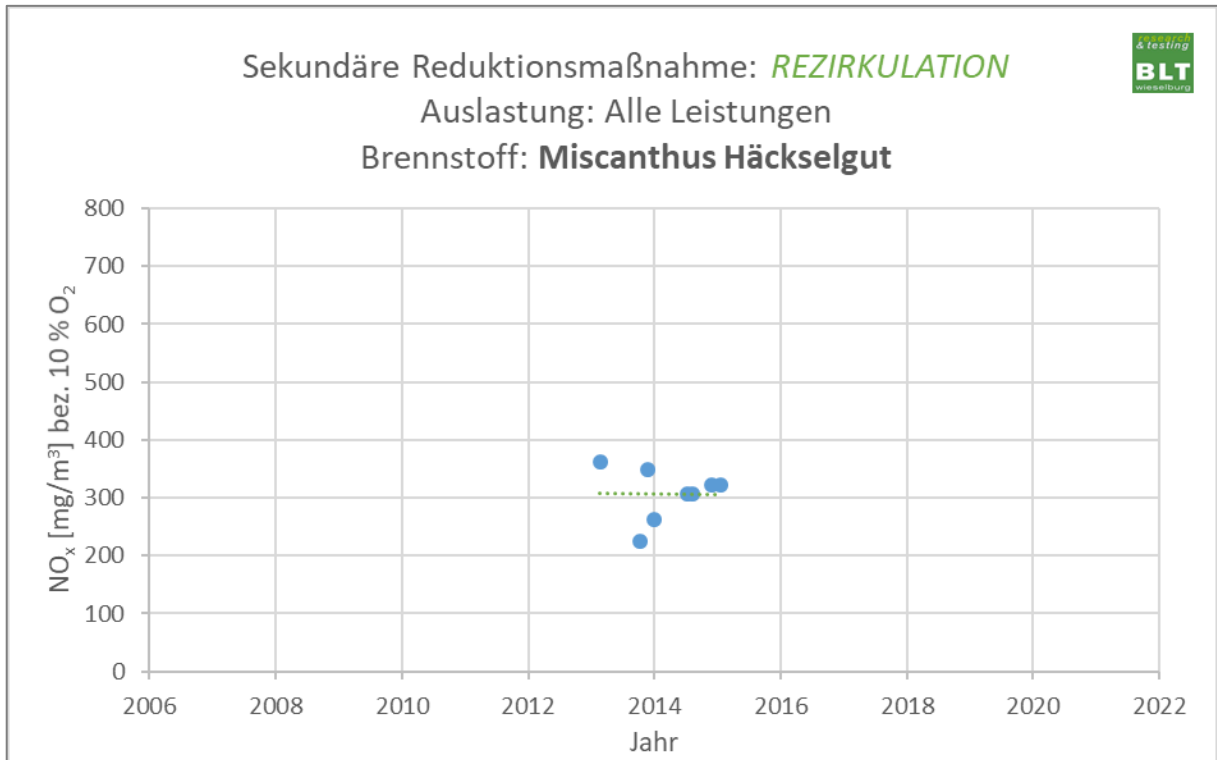


Abbildung 37: Entwicklung der NO_x-Emissionen bei automatisch beschickten Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation

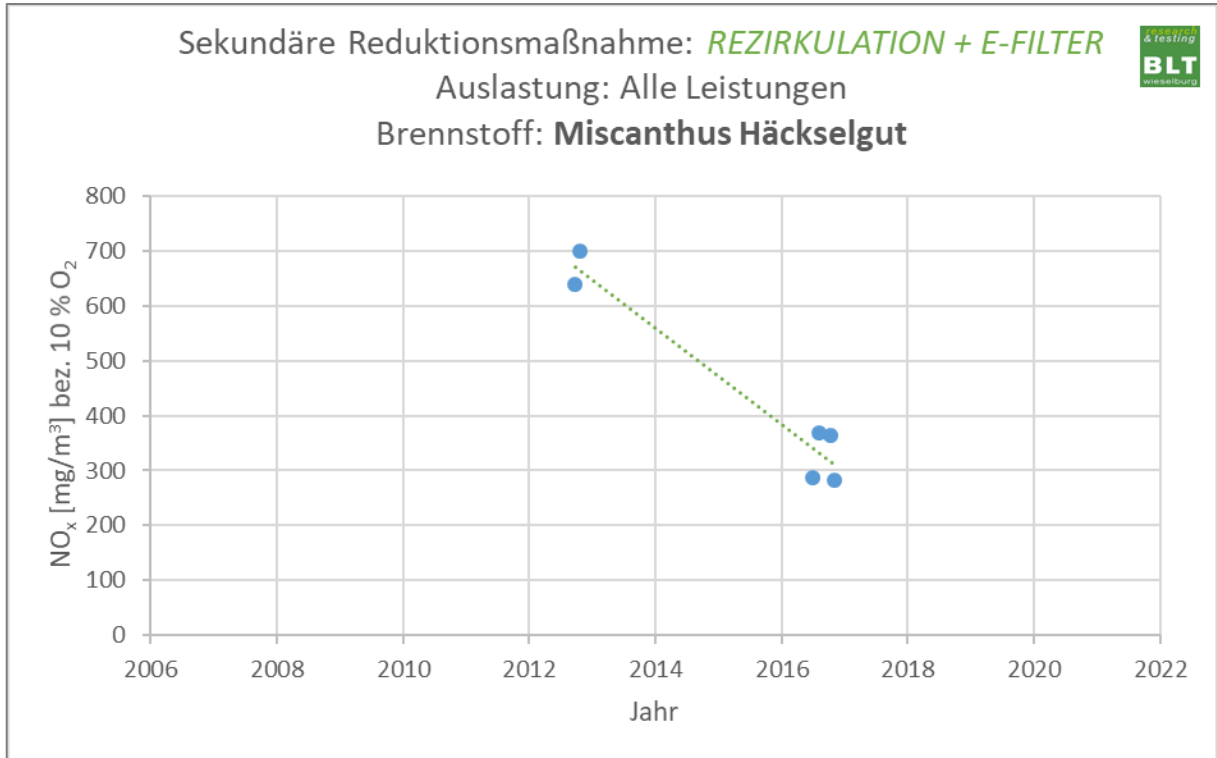


Abbildung 38: Entwicklung der NO_x-Emissionen bei automatisch beschickten Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation und E-Filter

Effekte von Reduktionsmaßnahmen bei den Staubemissionen

Für Stückholzkessel und automatisch beschickte Heizkessel für Energiekorn, stehen aktuell keine Daten, zur Gegenüberstellung von Feuerungen mit und ohne sekundäre Emissionsreduktionsmaßnahmen zur Verfügung. Begründet dadurch, dass im Zeitraum in dem Stückholzkessel und Heizkessel für agrarische Brennstoffe zur Prüfung anstanden, für Kleinf Feuerungen entweder noch keine gängige Technologie zur Emissionsreduktion zur Verfügung stand bzw. zur Einhaltung der Anforderungen zur gegebenen Zeit, die Umsetzung von Primärmaßnahmen ausreichend war.

Auf Basis der Prüfungsergebnisse seit dem Jahr 2006, zeigen sich Effekte der Emissionsminderung aufgrund von sekundären Reduktionsmaßnahmen für die Gesamt-Staubemissionen, bezogen auf den eingesetzten Brennstoff, wie folgt:

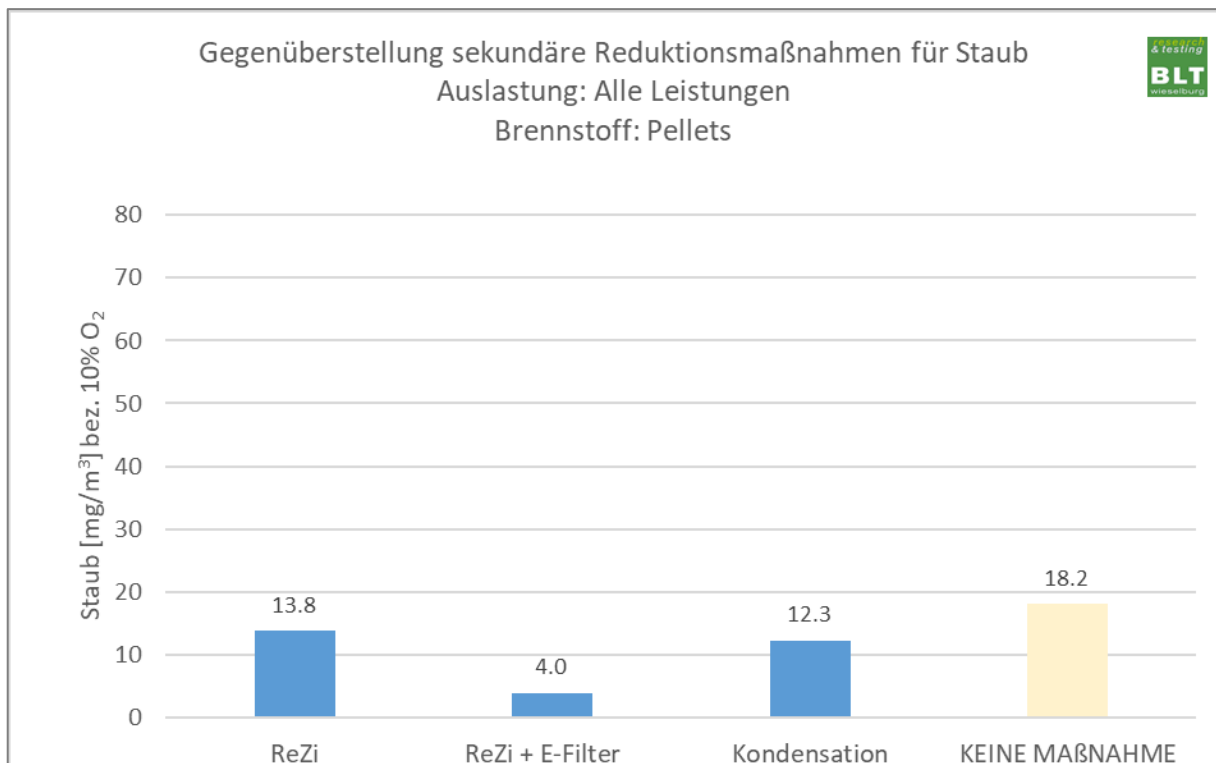


Abbildung 39: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzpellets

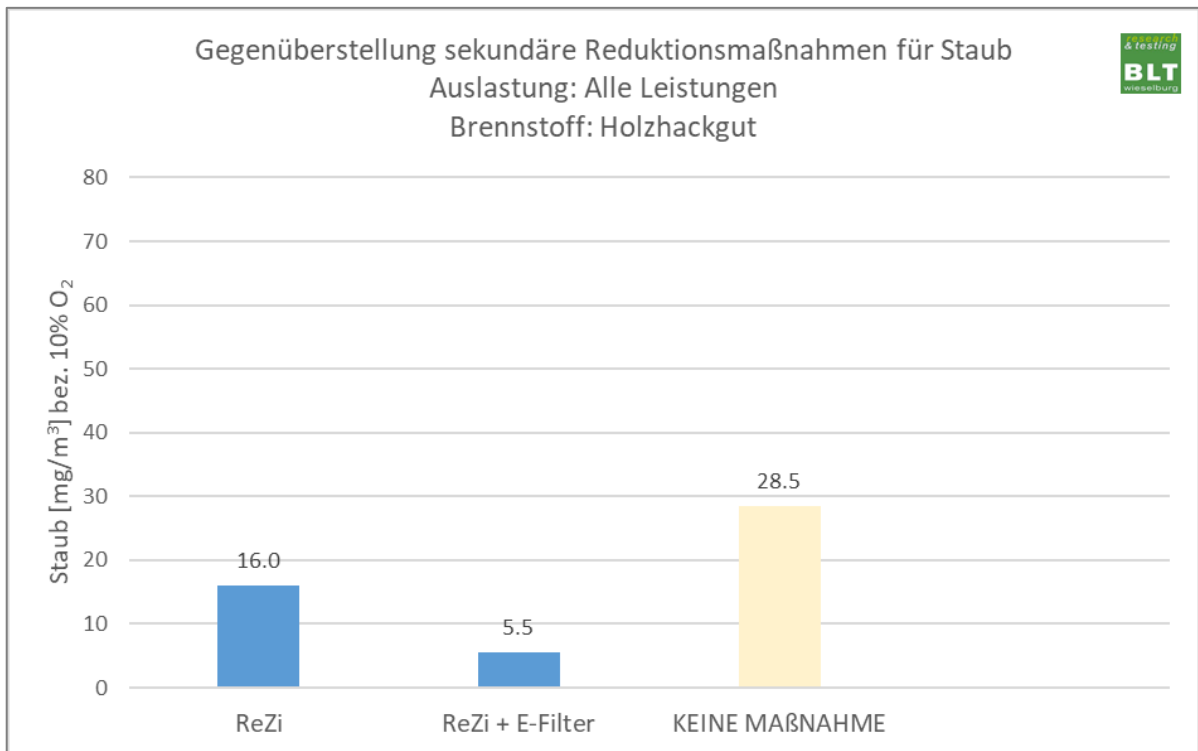


Abbildung 40: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzhackgut

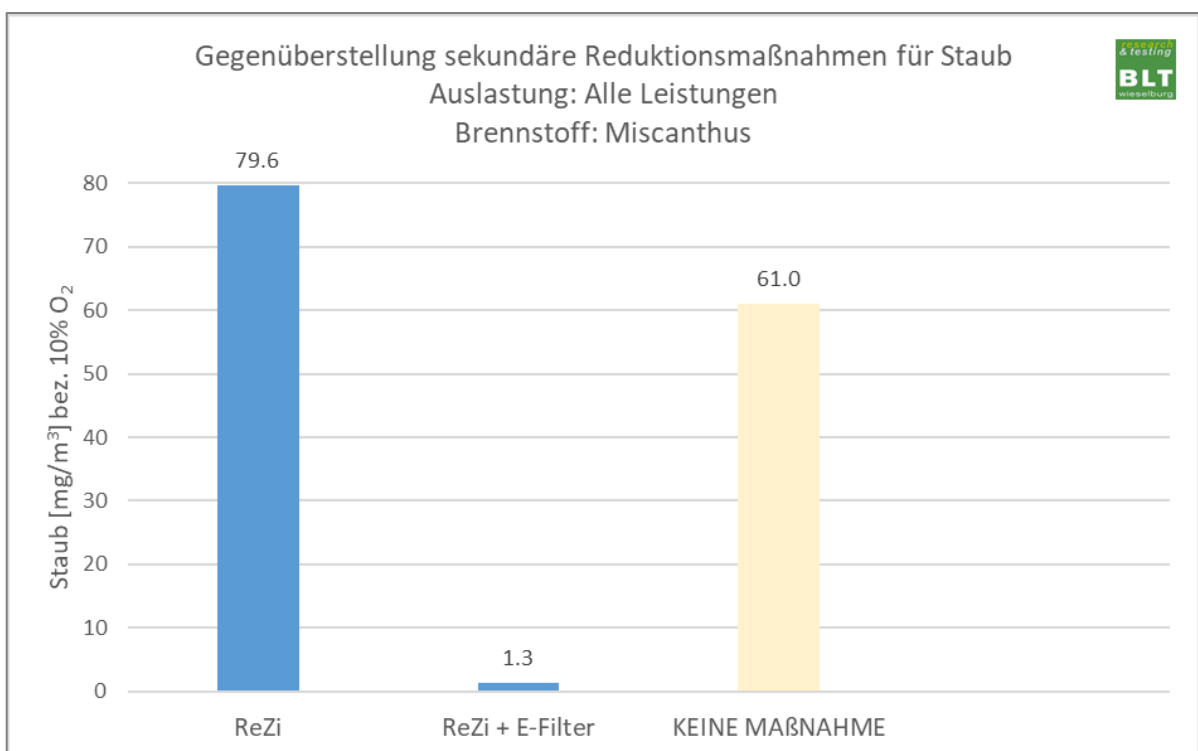


Abbildung 41: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)

Effekte von Reduktionsmaßnahmen bei den NO_x-Emissionen

Auf Basis der Prüfungsergebnisse seit dem Jahr 2006, zeigen sich Effekte der Emissionsminderung aufgrund von sekundären Reduktionsmaßnahmen für die NO_x-Emissionen, bezogen auf den eingesetzten Brennstoff, wie folgt:

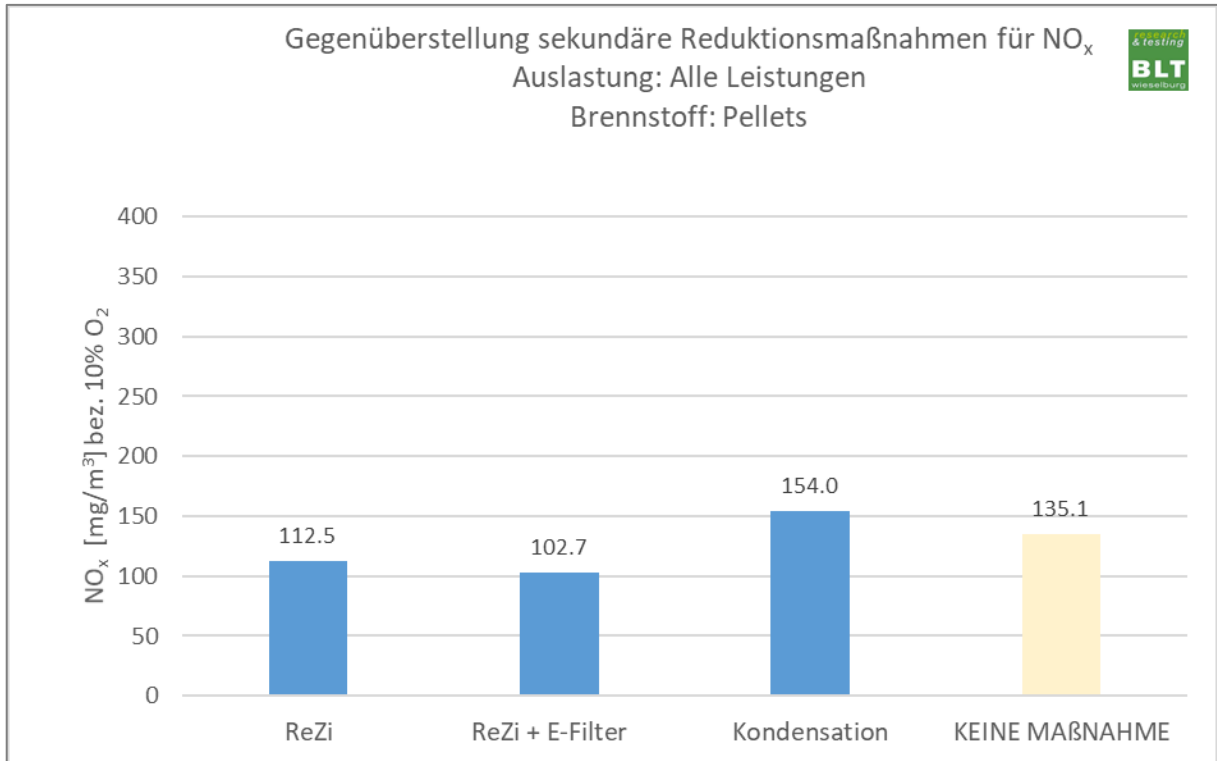


Abbildung 42: Vergleich der Durchschnittswerte der NO_x-Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzpellets

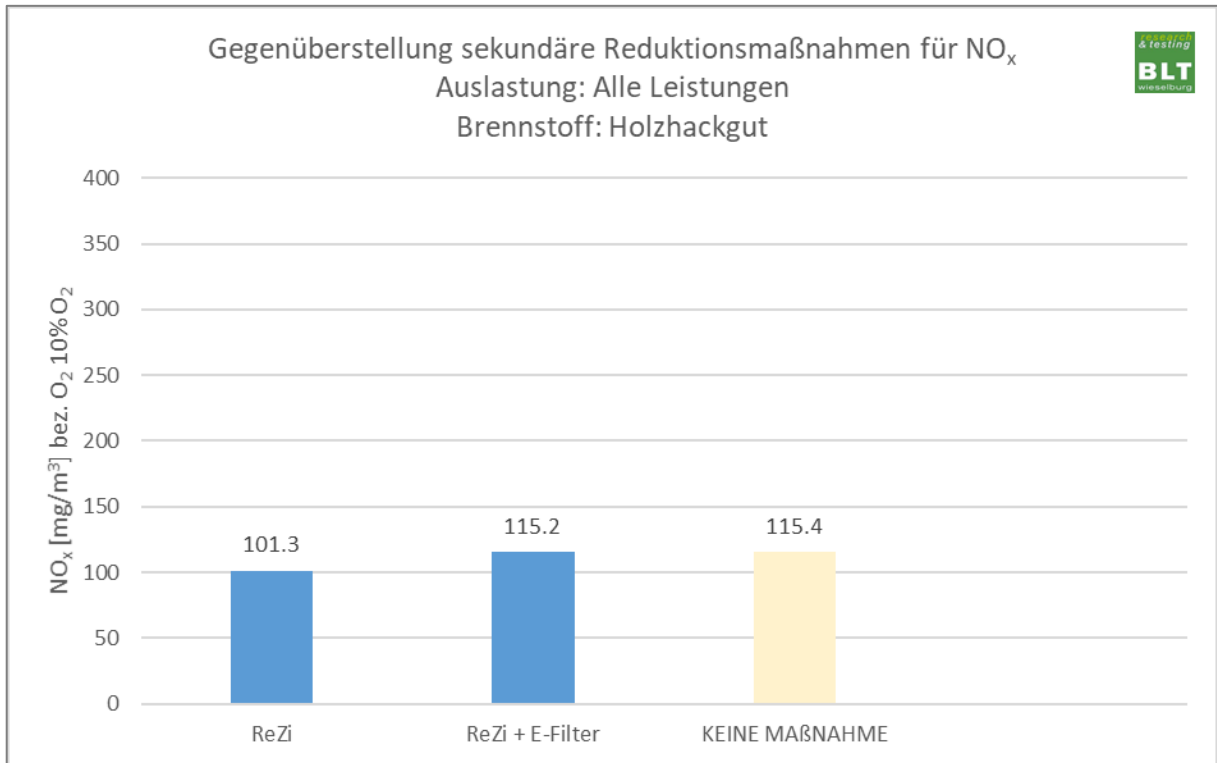


Abbildung 43: Vergleich der Durchschnittswerte der NO_x-Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzhackgut

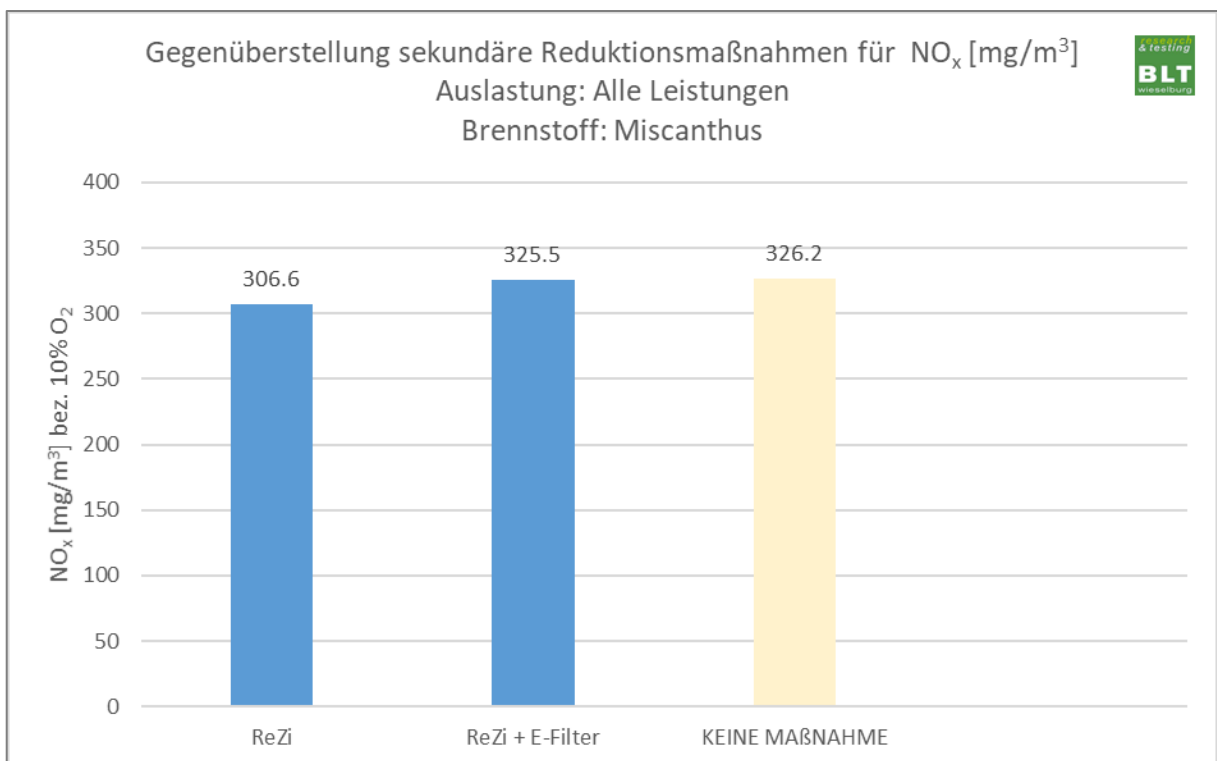


Abbildung 44: Vergleich der Durchschnittswerte der NO_x-Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)

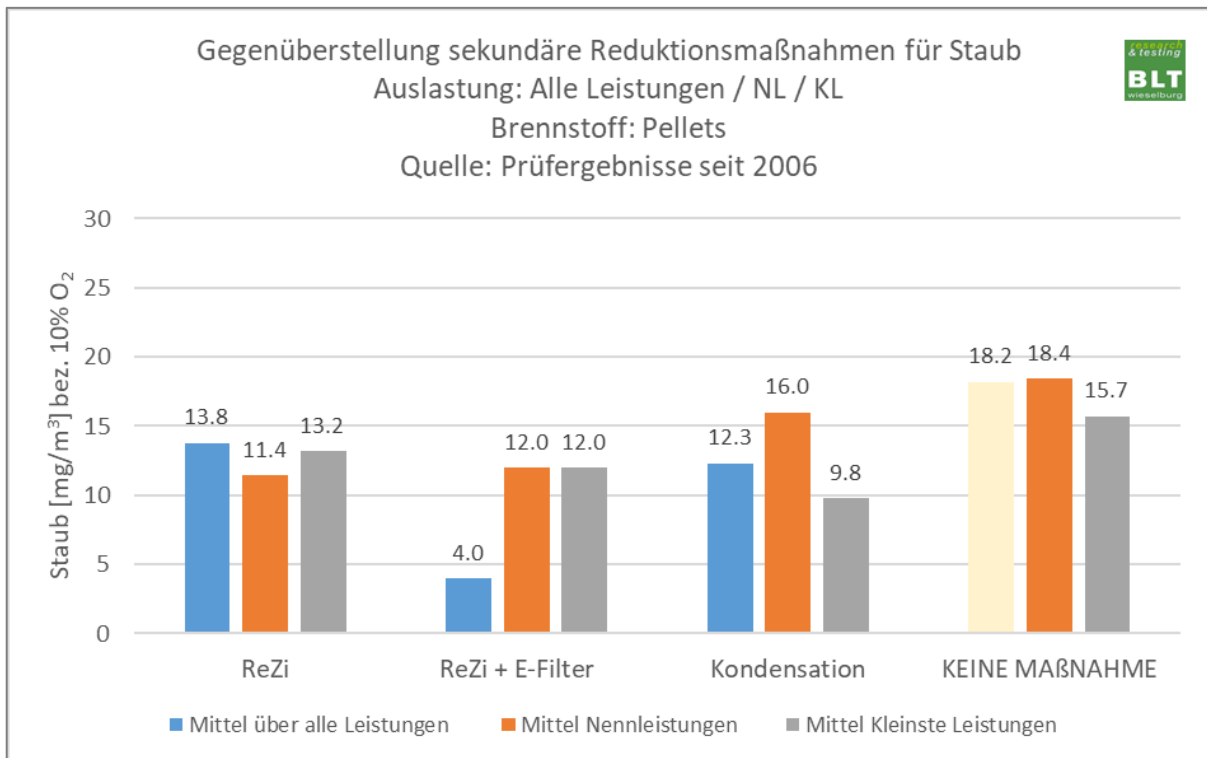


Abbildung 45: Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der Staub-Emissionen über den Beobachtungszeitraum, für den Brennstoff Holzpellets, aufgetrennt in Lastzustände

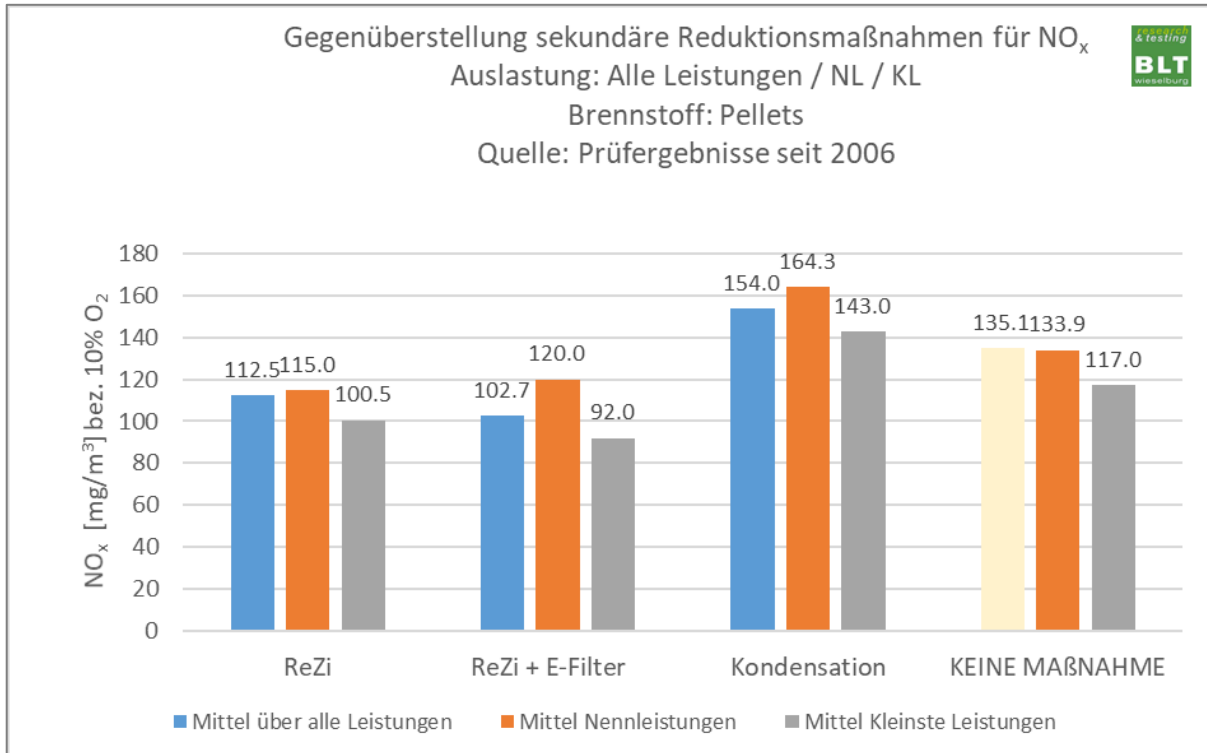


Abbildung 46: Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der NO_x-Emissionen über den Beobachtungszeitraum, für den Brennstoff Holzpellets, aufgetrennt in Lastzustände

Gegenüberstellung der Wirkfähigkeit einzelner Reduktionsmethoden anhand von Prüfstandsergebnissen

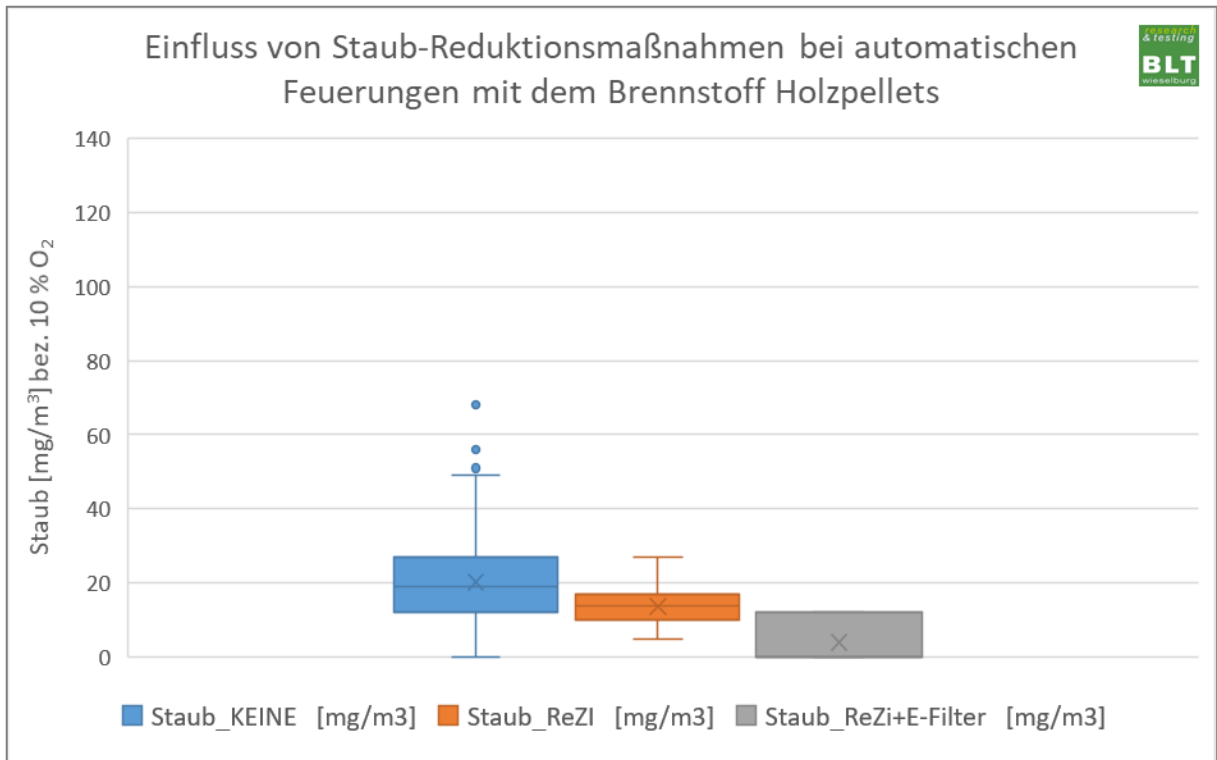


Abbildung 47: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzpellets

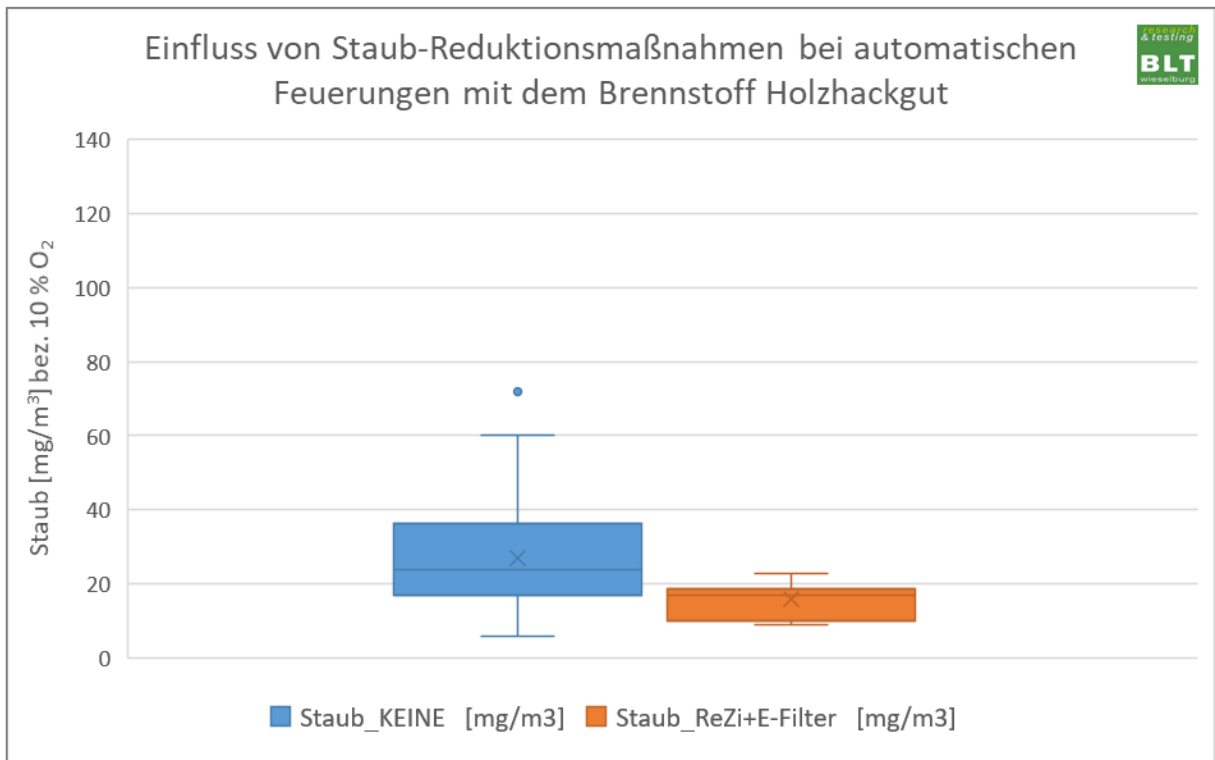


Abbildung 48: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzhackgut

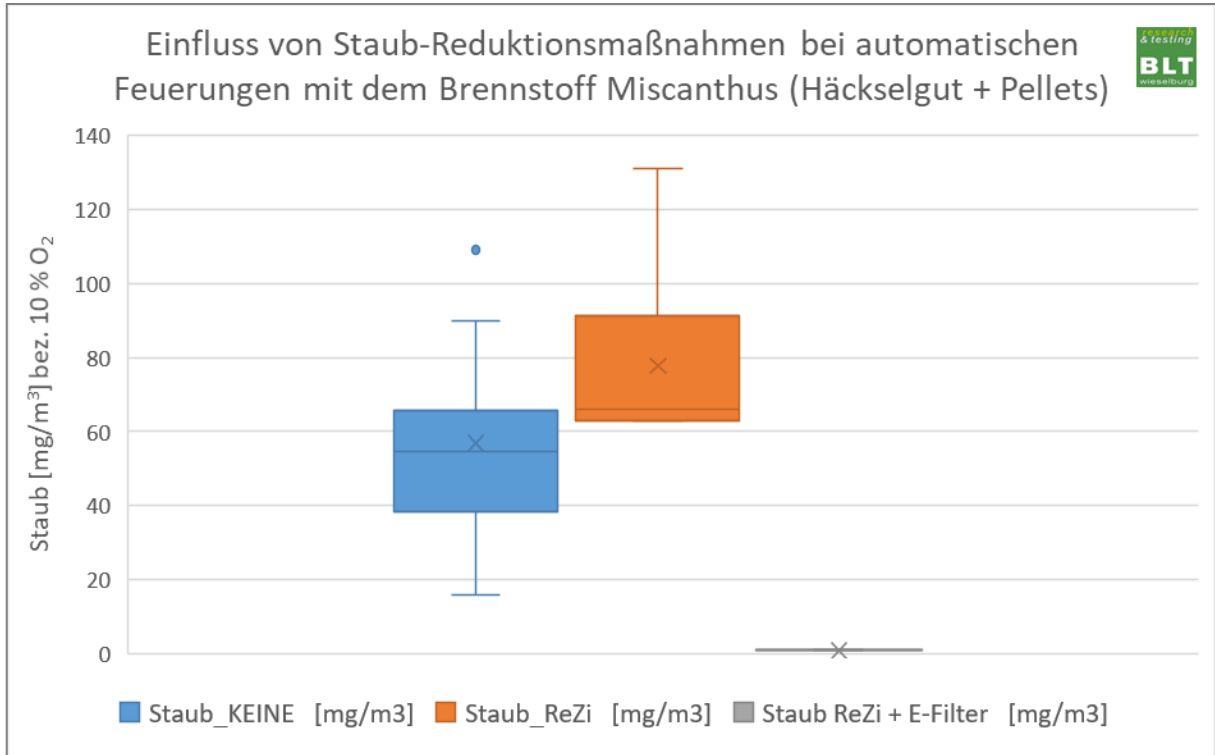


Abbildung 49: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)

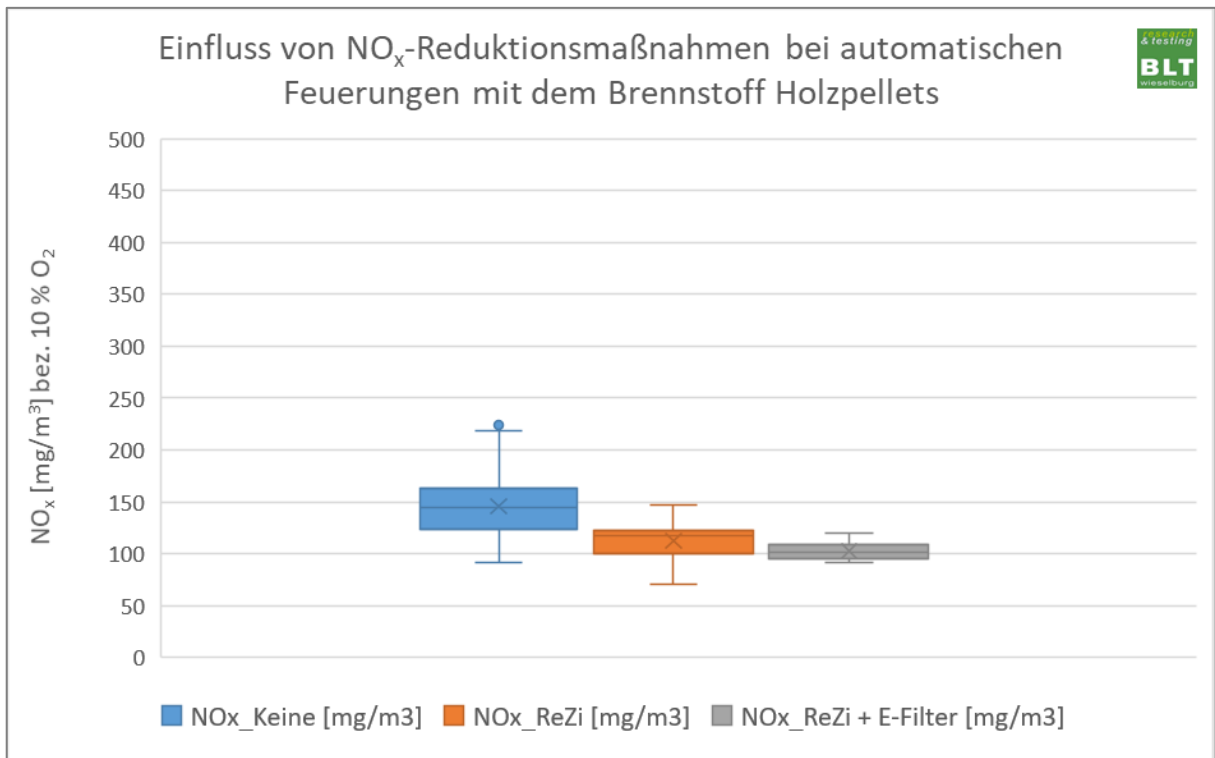


Abbildung 50: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO_x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzpellets

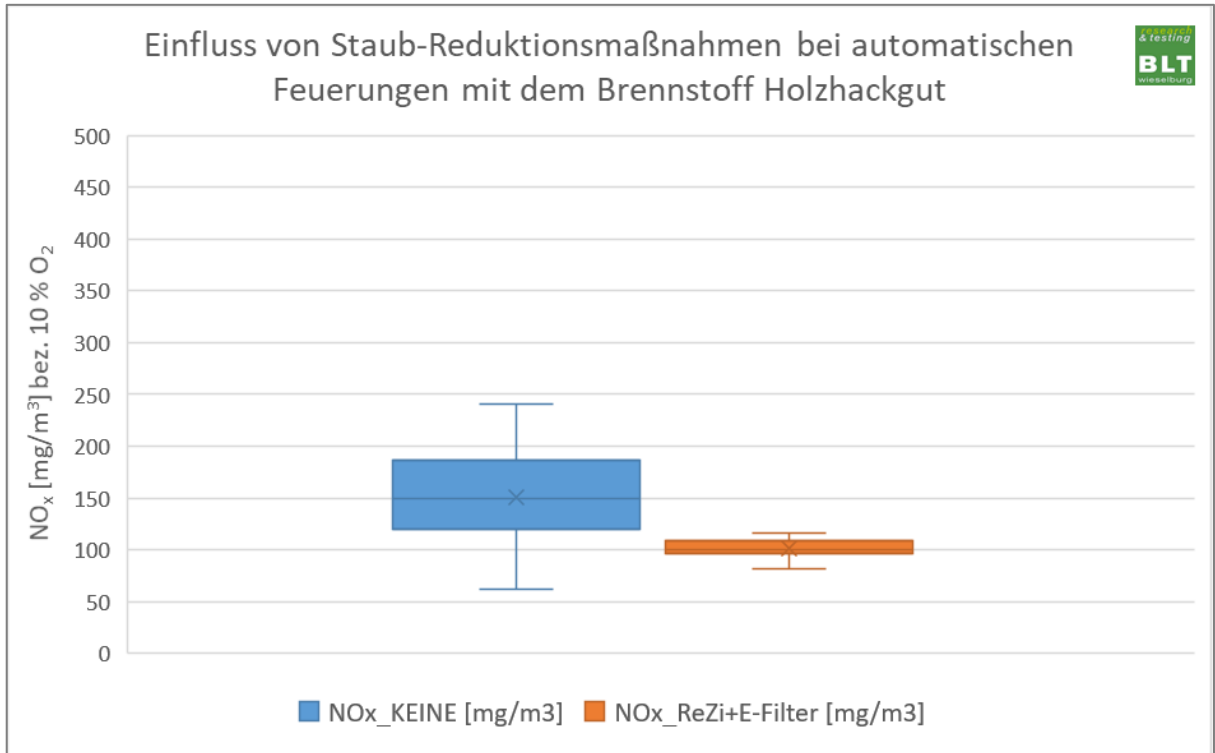


Abbildung 51: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO_x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzhackgut

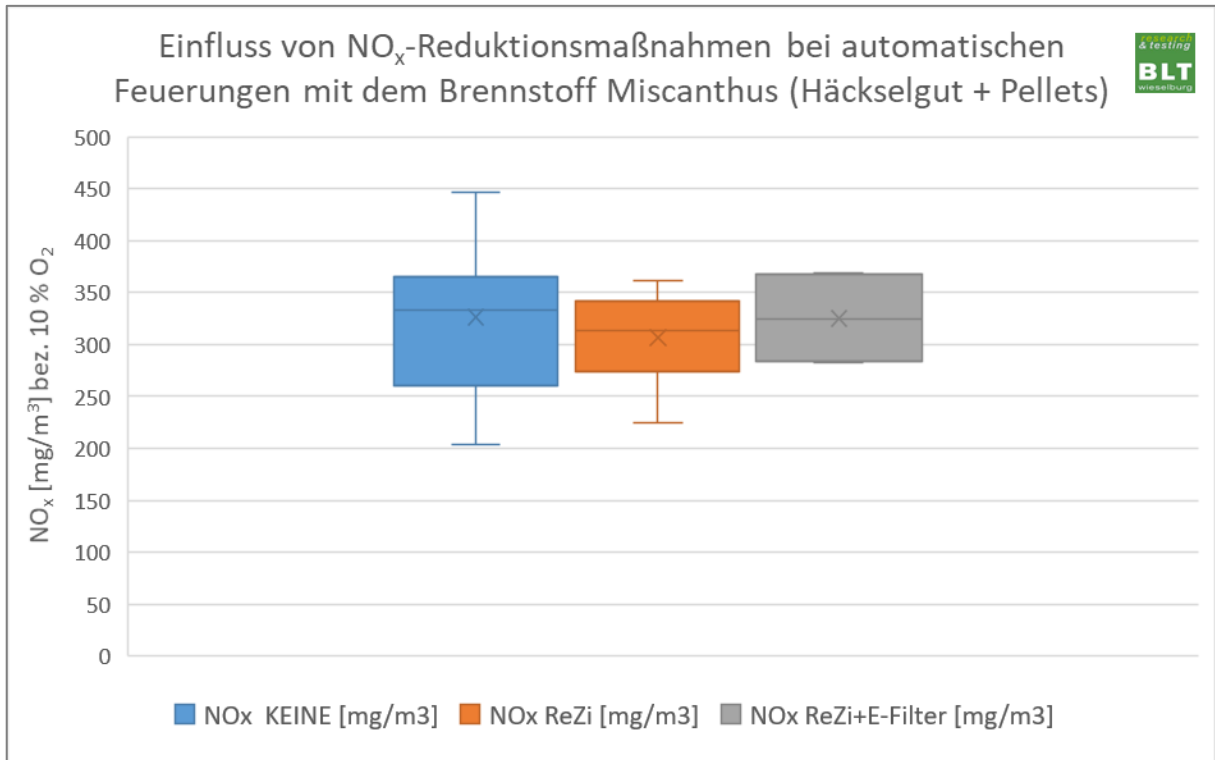


Abbildung 52: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO_x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)

6 Zusammenfassung

Die emissionsarme Wärmebereitstellung aus fester Biomasse mit Kleinfeuerungsanlagen und häuslichen Feuerstätten ist für das Ausbauziel der erneuerbaren Energien von großer Bedeutung. Zentrale Zielsetzung dabei muss die Reduzierung von klimaschädlichen Gasen sein. Weiterhin hohe Emissionen an Feinstäuben und toxischen Schadstoffen aus der Wärmeerzeugung mit Holzbrennstoffen und die zunehmende Sensibilisierung der Öffentlichkeit, könnten zukünftig jedoch negativen Einfluss auf die Akzeptanz in der Bevölkerung haben. Hersteller sind daher gefordert, die Entwicklungen in Richtung einer emissionsarmen Verbrennung voranzutreiben, um auch zukünftig die stetig strenger werdenden gesetzlichen Grenzwerte einhalten zu können.

Für den Einsatz in Biomassekleinfeuerungen und häuslichen Feuerstätten haben sich in den letzten Jahren eine Reihe von primären und sekundären Abgasreinigungsmaßnahmen etabliert. Die Auswertung der Prüfstandergebnisse der BLT Wieselburg haben gezeigt, dass durch primäre Maßnahmen wie die gezielte Luftstufung und die Abgasrezirkulation insbesondere auf die NO_x -Emissionen Einfluss genommen wird. Auch die entsprechende Brennstoffauswahl und die Forderung nach einem möglichst niedrigen Brennstoffstickstoffgehalt hat zur Senkung der NO_x -Emissionen beigetragen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass hinsichtlich der Reduktion von NO_x -Emissionen bei Kleinfeuerungsanlagen derzeit keine Sekundärmaßnahmen eingesetzt werden. Bisher können die gesetzlich geforderten Grenzwerte für NO_x auch ohne zusätzlichen Einsatz von Abgasaufbereitungsmaßnahmen eingehalten werden, weshalb auch Entwicklungen in dieser Hinsicht noch nicht notwendig sind. Technische Lösungen, wie selektive katalytische Reduktionskatalysatoren, wie sie beispielsweise bei Großfeuerungsanlagen angewendet werden, können eventuell in Zukunft auch in der Kleinfeuerungsstechnik notwendig werden.

Zur Reduktion der partikelförmigen Emissionen haben sich in den letzten Jahren eine Vielzahl an Varianten von elektrostatischen Staubabscheidern etabliert, die zum einen direkt in der Feuerung integriert sein können, oder zum anderen als Nachrüstlösung unmittelbar nach der Feuerung oder am Kamin angeboten werden. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die jüngsten Entwicklungen sehr gute Abscheideleistungen aufweisen und die Ergebnisse nahe der Nachweisgrenze der Staubemissionen liegen.

Die Reduktion von Kohlenstoffverbindungen aus unvollständigen Verbrennungsprozessen ist vorwiegend bei häuslichen Feuerstätten von Bedeutung. Moderne Zentralheizgeräte sind auf Grund der Luftstufung und der automatischen Regelung hinsichtlich CO-Emission sehr gut optimiert, weshalb diese in der Regel keine nennenswerten Probleme zur Einhaltung der gesetzlich geforderten Grenzwerte aufweisen. Häusliche Einzelraumfeuerungen hingegen weisen auf Grund der oftmals sehr einfachen Verbrennungstechnik, des niedrigen Automatisierungsgrades und dem damit verbundenen Benutzereinfluss sehr hohe CO-Emissionen auf. Kostengünstige und bedienungsfreundliche Technologien wie Katalysatoren haben sich als vielversprechende Maßnahmen herauskristallisiert. In der Praxis ist ein Katalysator erwünscht, welcher eine große Bandbreite an Kohlenstoffverbindungen oxidiert. Hierbei ist darauf zu achten, dass die verwendeten Trägermaterialien ausreichend robust, aber auch genügend offenporig sind, um sowohl Stabilität als auch einen geringen Druckverlust zu gewährleisten. Ihre Wirkung auf die Staub- sowie NO_x-Emissionen ist jedoch je nach eingesetztem Katalysatormaterial sehr begrenzt. Daher werden in der aktuellen Entwicklung auch bei diesen Feuerungen, trotz der vergleichsweise hohen Kosten, die Vorteile von elektrostatischen Staubabscheidern bevorzugt genutzt.

ABSTRACT

The low-emission provision of heat from solid biomass with small combustion plants and domestic fireplaces is of great importance for the expansion target of renewable energies. The central objective here must be the reduction of climate-damaging gases. However, continued high emissions of particulate matter and toxic pollutants from heat generation with wood fuels and increasing public awareness could have a negative impact on public acceptance in the future. Manufacturers are therefore called upon to drive developments towards low-emission combustion in order to be able to comply with the increasingly strict legal limits in the future.

In recent years, a number of primary and secondary flue gas cleaning measures have been established for use in small biomass furnaces and domestic fireplaces. The evaluation of the test bench results from BLT Wieselburg has shown that primary measures such as targeted air staging and flue gas recirculation have a particular influence on NO_x emissions. The appropriate fuel selection and the requirement for the lowest possible fuel nitrogen content also contributed to the reduction of NO_x emissions.

In summary, it can be stated that no secondary measures are currently used to reduce NO_x emissions in small combustion plants. So far, the legally required limit values for NO_x can be complied without the additional use of exhaust gas treatment measures, which is why developments in this respect are not yet necessary. Technical solutions such as selective catalytic reduction catalysts, as used in large combustion plants, for example, may also become necessary in small combustion technology in the future.

To reduce particulate emissions, a large number of variants of electrostatic dust separators have been established in recent years, which can be integrated directly into the furnace or offered as a retrofit solution directly after the furnace or on the chimney. The results show that the latest developments in particular have very good separation performance and the results are close to the detection limit for dust emissions.

The reduction of carbon compounds from incomplete combustion processes is primarily important for domestic fireplaces. Modern central heating appliances are very well optimized in terms of CO emissions due to air staging and automatic control, which is why they generally have no significant problems complying with the legally required limit values

Domestic single-room furnaces, on the other hand, have very high CO emissions due to the often very simple combustion technology, the low level of automation and the associated user influence. Cost-effective and user-friendly technologies such as catalytic converters have emerged as promising measures. In practice, a catalyst that oxidizes a wide range of carbon compounds is desirable. It is important to ensure that the carrier materials used are sufficiently robust but also sufficiently porous to guarantee both stability and low pressure loss. However, their effect on dust and NO_x emissions is very limited, depending on the catalyst material used. Therefore, despite the comparatively high costs, the advantages of electrostatic dust precipitators are also being utilized in the current development of these furnaces electrostatic dust precipitators are preferred.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Messtechnik und –geräte für die Versuchsreihen.....	24
Tabelle 2: Eingesetzte Prüfgase.....	25
Tabelle 3: Technische Daten der eingesetzten Feuerungstechnik.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieträgermix zur Wärmeproduktion und eingesetzte Heiztechnologie in österreichischen Haushalten 2021.....	8
Abbildung 2: Entwicklung der Anzahl der jährlich neu errichteten Biomassefeuerungen 1980 bis 2023	9
Abbildung 3: Entwicklung der CO-Emissionen bei Biomassefeuerungen von 1980 bis 2020.....	10
Abbildung 4: Entwicklung der Wirkungsgrade bei Biomassefeuerungen von 1980 bis 2020.....	11
Abbildung 5: Entwicklung der Staubemissionen bei Biomassefeuerungen von 1985 bis 2020.....	12
Abbildung 6: Entwicklung der Grenzwerte für Kohlenmonoxid-Emissionen von 2000 bis 2020.....	14
Abbildung 7: Entwicklung der Grenzwerte für Staub-Emissionen von 1985 bis 2020.....	15
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Prüfstandsbaus und Anordnung der Messstellen für die Verbrennungsversuche.....	24
Abbildung 9: CO-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.....	28
Abbildung 10: Verlauf der CO-Emissionen mit und ohne Keramik-Katalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.....	29
Abbildung 11: Verlauf der CO-Emissionen mit und ohne Metallkatalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.....	30
Abbildung 12: OGC-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchen.....	30
Abbildung 13: Verlauf der OGC-Emissionen mit und ohne Keramik-Katalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.....	31
Abbildung 14: Verlauf der OGC-Emissionen mit und ohne Metallkatalysator sowie die Abgastemperatur eines Verbrennungsversuches über 3 Abbrandperioden.....	31
Abbildung 15: NO _x -Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.....	32
Abbildung 16: Staub-Emissionen und die Reduktion durch die Verwendung der zwei Katalysatortypen mit Metall- und Keramiksubstraten in unterschiedlichen Versuchsdurchführungen.....	34

Abbildung 17: Staubablagerungen an den Katalysatoren und mit flächig begrenzten Abtragungen bei schräger Einbauvariante.....	34
Abbildung 18: Verteilung der Partikelanzahl der Feinstaubemissionen bei einem Verbrennungsversuch mit und ohne Metallsubstrat-Katalysator.	36
Abbildung 19: Verteilung der Partikelmasse der Feinstaubemissionen bei einem Verbrennungsversuch mit und ohne Metallsubstrat-Katalysator.	37
Abbildung 20: Messaufbau zur Ermittlung des Strömungsverhaltens und der Druckdifferenz.	38
Abbildung 21: Entwicklung der Staubemissionen von automatisch beschickten Biomasseheizkesseln ohne sekundäre Maßnahmen	44
Abbildung 22: Staubemissionen automatisch beschickter Biomasseheizkesseln mit Abgasrezirkulation.....	44
Abbildung 23: Staubemissionen automatisch beschickter Biomasseheizkesseln mit Kondensation.....	45
Abbildung 24: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgutheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme	46
Abbildung 25: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgutheizkessel mit Abgasrezirkulation.....	46
Abbildung 26: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgutheizkessel mit Abgasrezirkulation + E-Filter	47
Abbildung 27: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme.	48
Abbildung 28: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation	48
Abbildung 29: Staubemissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation und E-Filter.....	49
Abbildung 30: Entwicklung der NO _x -Emissionen bei Pellets-Heizkesseln ohne sekundärer Reduktions-Maßnahme.....	50
Abbildung 31: Entwicklung der NO _x -Emissionen von Pellets-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation.....	51
Abbildung 32: Entwicklung der NO _x -Emissionen von Pellets-Heizkesseln mit Kondensation.....	51
Abbildung 33: Entwicklung der NO _x -Emissionen bei Hackgut-Heizkesseln ohne sekundärer Reduktions-Maßnahme.....	52
Abbildung 34: Entwicklung der NO _x -Emissionen von Hackgut-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation.....	52

Abbildung 35: Entwicklung der NO _x -Emissionen von Hackgut-Heizkesseln mit Abgasrezirkulation + E-Filter	53
Abbildung 36: Entwicklung der NO _x -Emissionen automatisch beschickter Hackgut- / Miscanthusheizkessel ohne sekundäre Reduktionsmaßnahme	53
Abbildung 37: Entwicklung der NO _x -Emissionen bei automatisch beschickten Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation	54
Abbildung 38: Entwicklung der NO _x -Emissionen bei automatisch beschickten Hackgut- / Miscanthusheizkessel mit Abgasrezirkulation und E-Filter.....	54
Abbildung 39: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzpellets.....	55
Abbildung 40: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzhackgut.....	56
Abbildung 41: Vergleich der Durchschnittswerte der Staubemissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)	56
Abbildung 42: Vergleich der Durchschnittswerte der NO _x -Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzpellets.....	57
Abbildung 43: Vergleich der Durchschnittswerte der NO _x -Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Holzhackgut.....	58
Abbildung 44: Vergleich der Durchschnittswerte der NO _x -Emissionen über den gesamten Beobachtungszeitraum für den Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)	58
Abbildung 45: Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der Staub-Emissionen über den Beobachtungszeitraum, für den Brennstoff Holzpellets, aufgetrennt in Lastzustände.....	59
Abbildung 46: Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der NO _x -Emissionen über den Beobachtungszeitraum, für den Brennstoff Holzpellets, aufgetrennt in Lastzustände.....	59
Abbildung 47: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzpellets	60
Abbildung 48: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzhackgut.....	61
Abbildung 49: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für Gesamtstaub auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets)	61
Abbildung 50: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO _x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzpellets	62
Abbildung 51: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO _x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Holzhackgut	62

Abbildung 52: Darstellung der Potenziale einzelner sekundärer Reduktionsmaßnahmen für NO_x auf Basis von Prüfungsergebnissen mit dem Brennstoff Miscanthus (Häckselgut und Pellets) 63

Literaturverzeichnis

Pfemeter, C.; Liptay, P.; Fuljetic-Kristan, A.; Kahr, S. (2023): Bioenergie Atlas Österreich. Österreichischer Biomasse-Verband, ISBN 978-3-9504380-7-9

Haneder, H. (2024): Biomasse-Heizungserhebung 2023. Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung LK-Technik Mold, Eigenverlag

Hartmann, I.; Lenz, V.; Schenker, M.; Thiel, C.; Kraus, M.; Matthes, M.; Roland, U.; Binding, R.; Elnicke, W. (2011): Katalytisch unterstützte Minderung von Emissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen. DBFZ Report Nr. 6. Herausgeber DBFZ Deutsches BiomasseForschungsZentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ÖNORM EN ISO 17225-1:2021- Biogene Festbrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Herausgeber: Austrian Standards International. Ausgabedatum 2021-11-01

ÖNORM EN 303-5: 2023 - Heizkessel - Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nennwärmeleistung bis 500 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung. Herausgeber: Austrian Standards International. Ausgabedatum: 2023 06 01

ÖNORM EN 16510-1: 2023 - Häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabedatum: 2023 04 15

Hofbauer, H.; Kaltschmitt, M.; Nussbaumer, T. (2009): Thermochemische Umwandlungsprozesse. In Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-85094-6. S.375-441

Lenz, V. (2014): Stand und technische Entwicklungspotenziale bei Pellet- und Hackschnitzelkessel in Deutschland im Hinblick auf Effizienz und Emissionen. FNRFachveranstaltung: Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei Biomassefeuerungsanlagen im Zuge der Umsetzung der 1.BImSchV, Berlin, 21. Januar 2014

Obernberger, I.; Brunner, T.; Bärnthaler, G. (2005): Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. Institute for Resource Efficient and Sustainable Systems, Graz university of Technology, Austria

Mack, R.; Schön, C.; Kuptz, D.; Hartmann, H. (2019): Nutzereinflüsse auf das Emissionsverhalten von Kaminöfen Anzünden, Lufteinstellungen, Brennstoff. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) Schulgasse 18, 94315 Straubing. ISSN: 1614-1008

Nussbaumer, T. (2009): Stoffe aus vollständiger Oxidation der Hauptbrennstoffbestandteile. In Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-85094-6. S.375-441

Marutzky, R. (1991): Erkenntnisse zur Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz und Spanplatten. Habilitationsschrift. Schriftenreihe „WKI-Berichte“ (30), Hrsg.: WilhelmKlauditz-Institut, Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung. Braunschweig: Selbstverlag, S. 225

Francisco Josephinum Wieselburg
Schloss Weinzierl 1, 3250 Wieselburg
josephinum.at